

UNIVERSIDAD
INTERNACIONAL
DE LA RIOJA

unir

Universidad Internacional de La Rioja
Máster universitario en Neuropsicología y Educación

Relación entre discriminación
auditiva,
umbral diferencial tonal y
dislalias en un grupo de alumnos
de Educación Infantil y Primaria

Trabajo fin de máster presentado por: Marín-Palomar, Andrés Marcelo

Línea de investigación: Avances en neuropsicología

Director/a: Yudes Gómez , Carolina

Ciudad: Madrid

17 Enero 2014

Firmado por: Andrés Marcelo Marín-Palomar

Categoría Tesauro: educación teoría y métodos educativos: psicología
de la educación

1. Resumen

La medida de la capacidad para la discriminación de pequeños incrementos en tonos es denominada *umbral diferencial tonal*. Aunque la psicoacústica se ha interesado por su estudio desde la década de los sesenta, no se ha conseguido profundizar en su relación con la discriminación de la palabra hablada.

Cualquier oyente, desde los seis meses, es capaz de categorizar las vocales de cualquier hablante, aunque el aspecto acústico de estas emisiones es diferente. Si el análisis espectrotemporal que realiza la corteza temporal no es eficiente, el habla y sus procesos derivados, como la lectura, serán defectuosos.

En este trabajo fin de máster se examina la relación existente entre la detección mínima en la altura de los tonos, la discriminación silábica, los trastornos fonológicos y la adquisición de la lectura. Los resultados muestran que la relación entre estos elementos es más estrecha de lo que inicialmente puede parecer. Quizás esta relación podría crear otra vía de aplicaciones terapéuticas para la corrección de dislalias funcionales.

Palabras clave: Discriminación auditiva. Lectura. Mel. Tono puro. Trastorno Fonológico.

2. Abstract

The measure of the ability to discriminate small increments in frequencies is called tonal Just Noticeable Difference (or tonal difference threshold). Though psychoacoustics has interested in its study since the 60s, the relation of the speech with the discrimination threshold has not been done specifically.

A listener, since six months, is able to categorize the vowels of any speaker, though the acoustic emission spectrum is different. If the spectrotemporal analysis of the temporal cortex is not efficient, speech processes and their derivatives like reading, they will be defective.

This Master's Project examines the relationship between the minimum tonal detection, discrimination of syllables, phonological disorders and the reading access. The results show that these elements maintain a close-knit relationship. Perhaps this relationship could create another type of therapeutic applications for correction of functional dyslalias.

Key words: Auditory Discrimination. Literacy. Mel. Phonological Disorder. Pitch.

Índice

1.	<i>Resumen</i>	3
2.	<i>Abstract</i>	4
3.	<i>INTRODUCCIÓN</i>	7
3.2	Planteamiento del problema.....	7
3.3	Objetivos.....	9
4.	<i>MARCO TEÓRICO</i>	11
4.2	Características físicas del estímulo: propiedades del sonido.....	11
4.3	Audición y sonido.....	17
4.4	Discriminación auditiva y frecuencia.....	23
4.5	Procesamiento del habla.....	26
4.6	El análisis auditivo y el aprendizaje lector.....	29
4.7	Cuando sólo el habla falla.....	32
5.	<i>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN (METODOLOGÍA)</i>	36
5.1.	Problema que se plantea.....	36
5.2	Objetivos e Hipótesis.....	37
5.3	Diseño.....	38
5.4	Población y muestra.....	38
5.5	Variables e instrumentos aplicados.....	39
5.6.	<i>Procedimiento</i>	46
5.6	Análisis de datos.....	47
6.	<i>RESULTADOS</i>	48
6.2	Análisis descriptivos e inferenciales.....	48
6.3	Análisis correlacional.....	53

7.	<i>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</i>	55
7.2	Limitaciones.....	57
7.3	Prospectiva.....	58
8.	<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	59

3. INTRODUCCIÓN

3.2 *Planteamiento del problema*

Cuando un niño pronuncia mal surgen dos preguntas: ¿ha entendido correctamente? o ¿no sabe decirlo? En este trabajo fin de máster (TFM) se va a intentar averiguar la respuesta a la primera pregunta. Se observarán niños que tienen dislalias o problemas en la articulación para indagar si han entendido adecuadamente, esto es, para saber si auditivamente discriminan bien; el término “discriminación auditiva” será utilizado como la capacidad para realizar un análisis detallado y un procesamiento central adecuado del tono, la intensidad y la duración del estímulo sonoro.

De forma general, el lenguaje y la música se caracterizan por manejar códigos sonoros que utilizan las aferencias auditivas para la comprensión de significados. En el caso de las lenguas tonales (ej. chino o sueco) la relación entre ambas es evidente, ya que las variaciones del tono en una misma palabra implican cambios de significado.

Como ejemplo, Wang (2011) ha observado que los hablantes del chino mandarín, desarrollan el oído relativo (diferenciaciones de altura entre dos segmentos sin tener en cuenta la altura real) mucho mejor que los hispanohablantes, y estas diferencias lingüísticas tienen una clara aplicación musical.

Los sonidos del habla y los musicales utilizan diferentes señales acústicas: el habla es altamente dependiente de la rápida evolución de los sonidos de banda ancha, mientras que los patrones musicales tienden a ser más lentos, aunque los cambios pequeños y precisos en la frecuencia siguen siendo muy importantes.

Estudios de referencia como el de Zatorre, Belin y Penhune (2002) muestran que las cortezas auditivas de los dos hemisferios cerebrales están relativamente especializadas,

de modo que la resolución temporal es mejor en las áreas corticales auditivas del hemisferio izquierdo y la resolución espectral es mejor en las áreas corticales auditivas del hemisferio derecho, de forma que proponen que esta asimetría podría haberse desarrollado como una solución a la necesidad de optimizar el procesamiento del ambiente acústico en los dominios temporal y frecuencial.

Las pruebas clínicas audiométricas miden los umbrales de intensidad que percibe un paciente en siete frecuencias básicas para determinadas frecuencias. Sin embargo, hasta la fecha no existen estudios publicados que relacionen las dislalias funcionales (defectos en la dicción, como por ejemplo la sustitución de “pala” por “para”, sin causa orgánica), con los déficits en la percepción de pequeñas diferencias en la altura tonal; esto quizás sea debido a que, hasta hace poco, el análisis frecuencial de la palabra hablada se encontraba ligada al hemisferio izquierdo (por la necesidad de precisión en el análisis temporal que este desarrolla), mientras que la deficiencia en la discriminación de las diferencias tonales se relacionaba con problemas en la percepción musical y, consecuentemente, con el temporal derecho.

Si existe una relación entre la discriminación tonal y la discriminación de la palabra, esta debería darse en los primeros años de aprendizaje del código lingüístico (antes de completarse la lateralización hemisférica), ya que estudios realizados con adultos confirman que no es así (Zatorre et al., 2002; Zatorre, Evans, Meyer y Gjedde, 1992).

La cóclea, al igual que el área de audición primaria (o área 41 de Brodmann), posee una organización tonotópica, es decir, cada localización topológica sólo responde a la estimulación de un determinado tono. Esto tiene una significación fundamental en el análisis acústico del habla, ya que no solo permite diferenciar los tonos musicales, sino los tonos que configuran la estructura de cualquier fonema; esto es el primer paso hacia la discriminación auditiva.

Subiendo en una escala, desde el procesamiento acústico a las funciones superiores del cerebro, la integración de los sistemas perceptivos, efectores y computacionales del habla, Hickok y Poeppel (2007) plantean un modelo flujo dual en su procesamiento, en la

que una vía ventral procesa las señales de habla para su comprensión, y una corriente dorsal, formada por representaciones acústicas de las señales vocales, llega hasta el lóbulo frontal conectando con las redes articulatorias. Este modelo asume que la corriente ventrales bilateral, aunque exista una asimetría funcional en el procesamiento.

La discriminación auditiva está considerada por la Asociación Americana del Habla, Lenguaje y Audición ("*American Speech-Language-Hearing Association*", ASHA) como un resultado del procesamiento auditivo central. Por ello, su estudio debe implicar la estructura física del estímulo acústico, el mecanismo neuronal que codifica el estímulo, las dimensiones perceptuales que se derivan de la codificación, las interacciones que se producen entre los procesos perceptivos y la activación de los recursos de nivel más alto (ASHA, 1994). El presente trabajo se desarrollará siguiendo las pautas del esquema de estudio propuesto por esta asociación.

3.3 Objetivos

En este trabajo fin de máster se investigará si existe, en el idioma español, una relación entre la detección de diferentes tipos de tonos y la detección de la palabra hablada.

En un principio, la relación existente entre la audiometría tonal liminar (realizada exclusivamente con tonos puros para detectar el umbral en dB. de algunos tonos) y la audiometría vocal (en la que se mide la inteligibilidad de la palabra) no está tan definida como en el caso de las lenguas tonales, algún estudio en mandarín (Chien et al., 2006) proporciona correlaciones muy altas entre ambos umbrales para determinadas frecuencias.

Para alcanzar este objetivo general se proponen dos objetivos específicos:

- Observar si los déficits para identificar correctamente los tonos senoidales se encuentran relacionados con la discriminación de la palabra, las dislalias y la lectura.

- Determinar si la capacidad para mantener las diferencias entre dos tonos (tono relativo) en la memoria inmediata auditiva se relaciona con la discriminación de la palabra, las alteraciones fonológicas y la lectura.

4. MARCO TEÓRICO

En el siguiente apartado se explicarán las características básicas del sonido para poder entender algunas de las nociones que utilizan los estudios de psicoacústica. El desarrollo se centrará en la frecuencia, la intensidad y el timbre, elementos que son fundamentales para esclarecer los trastornos de lenguaje.

4.2 *Características físicas del estímulo: propiedades del sonido*

Se entiende por **sonido** la sensación que produce la vibración de un cuerpo que se propaga por un medio elástico, éste puede ser sólido, líquido o gaseoso como el aire.

En el medio aéreo, la fuente de sonido provoca un tren de pulsos de presión que modifica el aire que la rodea. El aire comprimido (zona de sobrepresión) tiende a descomprimirse (rarefacción) ejerciendo una mayor presión sobre el aire que lo rodea a menor presión, al que a su vez comprime creando un desplazamiento de la perturbación sonora. Este tipo de propagación es una onda sonora (Kane y Sternheim, 2007).

A continuación se describen los dos tipos de ondas sonoras, que resultan imprescindibles conocer en el presente trabajo, a saber: Ondas simples y ondas complejas periódicas.

Las ondas simples se caracterizan porque las variaciones de presión son senoidales, es decir, las fluctuaciones de presión en el tiempo describen la forma de una función trigonométrica, pudiendo ser de seno o coseno. Son denominadas también tonos puros, extraños de encontrar en ambientes naturales, pero utilizados clínicamente para realizar multitud de pruebas auditivas (audiometría tonal, otoemisiones acústicas, etc.).

Las ondas complejas son el resultado de la suma y amortiguaciones de la vibración de un cuerpo con relación a la masa de aire que le envuelve. Si se encuentran en la misma fase se producen adiciones y en fase contraria amortiguaciones. Las ondas complejas se pueden expresar como una superposición de movimientos armónicos simples de frecuencias de acuerdo con el Teorema de Fourier. La casi totalidad de los sonidos que encontramos en la naturaleza son ondas complejas, siendo el de la palabra el que nos ocupará.

Las características del sonido para el ser humano son el tono, la intensidad, el timbre y la duración. Estas serán explicadas con detalle en lo que sigue, sin embargo, de esta última (la duración) no merece profundizar en explicaciones, ya que es de fácil manejo tanto su definición, como sus sistemas de medida.

El tono

El tono es la sensación que percibimos como resultado de los parámetros físicos del período y la frecuencia que posee la onda sonora. Lo interpretamos en una escala que varía del agudo al grave.

Los movimientos repetitivos que realiza cada partícula se denominan ciclos; esto es el movimiento que se produce desde una posición hasta volver de nuevo a la misma posición. El periodo se mide tomando como punto de partida cualquier posición intermedia, sabiendo que el punto final corresponderá con aquel que posea la misma fase, es decir, la misma localización y sentido del movimiento. La frecuencia de onda es el número de ciclos que se realizan en un segundo.

La unidad que se utiliza para la medida de la frecuencia es el ciclo por segundo (cps), también llamado hercio o Hertz (Hz). En la *Figura 1* se ha realizado una representación esquemática de un ciclo o hercio, en el eje de ordenadas se presenta la amplitud en dB y en el de abscisas los tiempos medidos en segundos. El oído humano percibe, dependiendo de las edades y los individuos, de unos 15 Hz a 20.000 Hz. Con la edad, a partir de los

veinte años, la pérdida en frecuencia viene a ser de un cps diario; de modo que un sujeto de 20 años que perciba un campo frecuencial de 20 Hz a 20 KHz, cuando tenga 30 años dicho campo estará restringido, aproximadamente, a un rango frecuencial de 20 Hz a 16,4 KHz (Van Eyken, Van Camp y Van Laer, 2007).

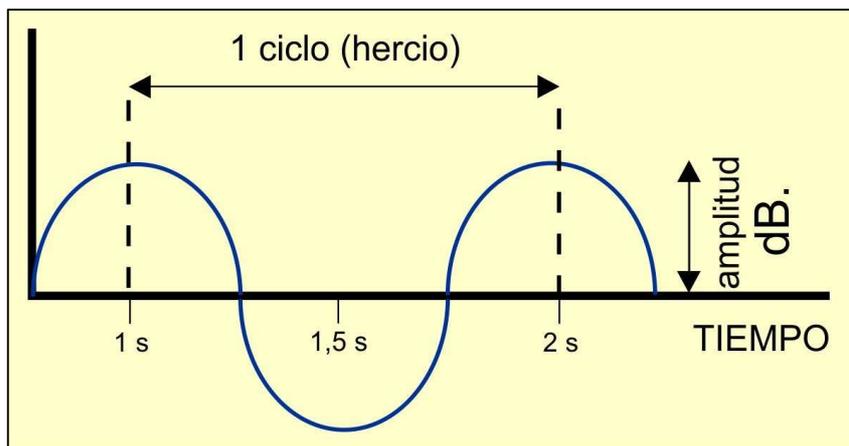


Figura 1. Representación esquemática de 1 Hz.

Elaboración propia (Coreldraw ©)

Pese a lo anteriormente expuesto, el espectro de audio de la telefonía es sólo de 200 Hz a 3.400 Hz, de acuerdo con la recomendación UIT-T G.711 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (Cox, de Campos, Lamblin y Sherif, 2009); por ello es habitual que el sonido telefónico nos parezca artificial y de baja calidad, aunque, en los idiomas en que el hablante se desempeña naturalmente, permite una comunicación funcional. No obstante, cuando no se tiene un nivel alto de dominio en una lengua, la comprensión es peor telefónicamente; una de las explicaciones es el recorte frecuencial que sufre el oyente. En la Figura 6 puede verse esquemáticamente el campo de frecuencias de la telefonía inserto en la zona conversacional.

La intensidad

La intensidad del sonido depende de la amplitud de la onda (Figura 1) y es percibida por el oído como el nivel de volumen. Desde el punto de vista físico, se denomina amplitud de una onda al grado de movimiento de las moléculas del aire que hay en esta, y correspon-

de a la intensidad del enrarecimiento y compresión que la acompañan.

La intensidad sonora puede medirse considerando la energía en función del tiempo, es decir, la potencia, cuya unidad de medida habitual en acústica es el vatio (W).

Por otra parte, el oído humano es sensible a intensidades que van desde una cantidad tan pequeña como 10^{-12} W/m² hasta 1W/m², de modo que resulta más cómodo utilizar el bel (B), el cual representa un aumento de la potencia de 10 veces sobre la magnitud de referencia (0 B); y donde el mínimo son 0 B (10^{-12} W/m²) y el máximo 12 B (1W/m²). Así, 2 belios son un incremento de 10^2 veces en la potencia, 3 belios suponen un aumento de 10^3 y así sucesivamente (Giancoli y Campos, 2007). No obstante, dado que el bel es una medida excesivamente grande, es más útil usar un submúltiplo como el decibelio (dB); como la unidad de medida de los niveles de intensidad sonora. El decibelio es una unidad logarítmica, esto es así porque la sensibilidad del oído humano a las variaciones de intensidad sonora sigue una escala aproximadamente logarítmica y no lineal.

El timbre

El timbre es la característica que percibimos como el sonido propio de un cuerpo elástico y depende del reforzamiento de una frecuencia por éste; cuando la frecuencia del mismo se acerca a la propia del cuerpo elástico, se le denomina resonancia, y al cuerpo elástico: resonador. La resonancia hace que la amplitud de la vibración del sistema aumente dependiendo de lo cerca que estén ambas frecuencias y el tiempo que sea mantenida.

De acuerdo con el teorema de Fourier cualquier movimiento periódico se puede expresar como una superposición de movimientos armónicos simples de una determinada frecuencia (f) 2f, 3f, 4f, etc. Sin embargo, para el oído humano el tono de una onda compleja lo marca su frecuencia fundamental (Trujillo, González, Cobo y Cubillas, 2006).

Ante una perturbación sonora cualquier cuerpo elástico mantiene una frecuencia que le es propia, constituyendo un sistema con una capacidad vibratoria determinada, amplificando esta frecuencia y disminuyendo las restantes. De este modo, se puede decir que

un resonador desempeña el papel de filtro para determinadas bandas de frecuencias. Con lo explicado hasta aquí, el timbre se define como la onda sonora compleja formada por las diferentes intensidades de sus armónicos que son múltiplos de la frecuencia fundamental.

Lo expuesto anteriormente nos ayuda a comprender las características básicas de la palabra; en el habla humana la frecuencia fundamental (F_0 o F_x) es la creada por la vibración de las cuerdas vocales, suele oscilar – en voz hablada a intensidades conversacionales - de 100 Hz en el hombre a 250 Hz en la mujer, ya que la frecuencia media durante la comunicación oral depende de la longitud de la cuerda vocal en estado de coaptación o aducción cordal.

El timbre se crea gracias a las estructuras resonadoras. La glotis (espacio entre las cuerdas vocales) es el plano establecido para definir el tipo de resonancia: infraglótica (resonancias en posición caudal con relación a las cuerdas vocales, la llamada “voz de pecho”), glótica (laringe) y supraglótica (las diferentes partes de la faringe, la cavidad bucal, las fosas nasales y los labios).

Los armónicos que se producen en los resonadores supraglóticos reciben el nombre de formantes (F_n). El primer formante (F_1) depende de la cavidad faríngea, el segundo formante (F_2) de la posición de la lengua dentro de la boca y el tercero (F_3) de la posición o cavidad de resonancia formada por los labios (Trujillo et al., 2006).

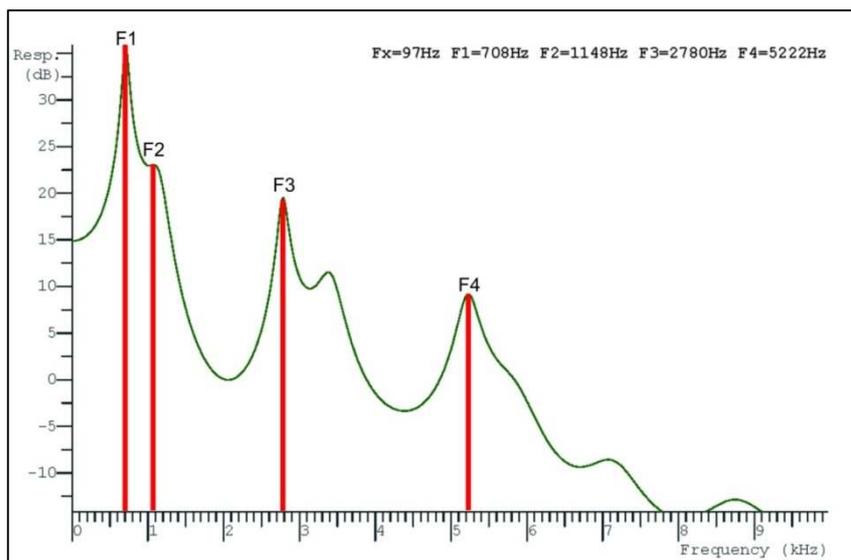


Figura 2. Espectrograma de sección transversal de la vocal [a].

Elaboración propia (Speech Filing System)

En la *Figura 2* se puede observar un espectrograma de la vocal [a] emitida por el autor, las columnas rojas representan los cuatro primeros formantes. La velocidad de vibración de las cuerdas vocales corresponde a 97 Hz, el primer formante se observa a 708Hz, el segundo formante en 1148 Hz, el tercer formante en 2780 Hz y el cuarto en 5222 Hz.

La banda frecuencial sube hacia el agudo en la mayoría de las consonantes, sobre todo en los sonidos sordos. Borzone de Manrique (1980) sitúa la [f] en una banda frecuencial comprendida entre 1000 Hz y 11000 Hz, estando situado el F_1 en 1500 Hz y el F_2 en 8500 Hz y para el sonido [s] en una banda entre 2000 Hz y 12000 Hz y F_1 de 4000 Hz a 6500 Hz y F_2 de 7500 Hz a 9500Hz. Quilis (1981) sitúa la [s] con un F_1 que fluctúa de 3483 Hz a 5670Hz y un F_2 sobre 4455 Hz.

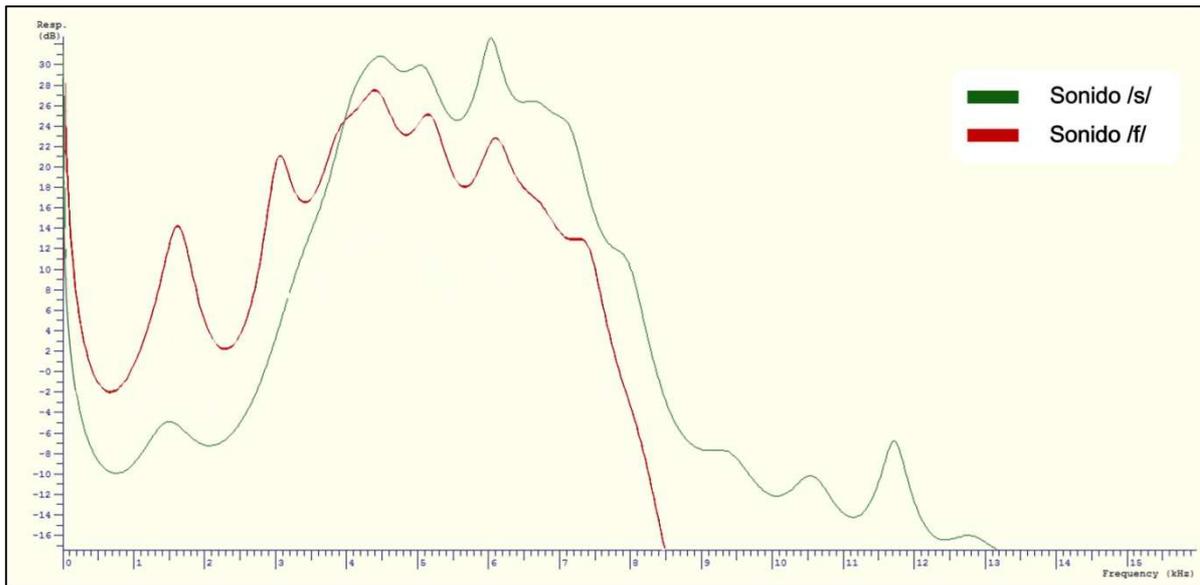


Figura 3. Espectrograma de sección transversal de [s] y [f].

Elaboración propia (Speech Filing System)

La Figura 3 muestra los sonidos consonánticos [s] y [f] superpuestos, se ha incrementado la intensidad del sonido [f] para examinar sólo las diferencias en el tono. Es interesante observar los formantes de ambos e imaginar el análisis tan delicado que deberá realizar el sistema auditivo para encontrar las diferencias entre ellos, además el tiempo de duración de estos fonemas (de 20 ms a 30 ms) jugará en contra de la calidad en la diferenciación.

En conclusión, hasta el momento se han descrito las características sonoras del material que conforma el habla, pero para que ésta pueda ser integrada y aprehendida debe ser captada; en el siguiente apartado se describirá el sistema responsable y se relacionará con algunos conceptos de psicoacústica.

4.3 Audición y sonido

El oído es el órgano periférico del Sistema Auditivo (SA de aquí en adelante). Su fun-

ción es captar y convertir el sonido en impulsos neuroeléctricos que pueda utilizar el Sistema Nervioso. Desde este punto de vista esquemático podríamos dividirlo en dos grandes segmentos, uno mecánico y otro de conversión mecánico-neuroeléctrica.

La **parte mecánica** estaría constituida por dos elementos: el **oído externo** que consta de: pabellón auricular y conducto auditivo externo (de color naranja en la Figura 4) y el **oído medio** donde se encuentra la cadena osicular inserta en el *cavum timpani*, en el interior del espesor del hueso temporal (marcada del rosa en la); separados ambos por la membrana timpánica (Sánchez, 2003).

La función principal de este conjunto es captar y amplificar el sonido adecuadamente, convirtiéndolo en una vibración mecánica apropiada para estimular la ventana oval.

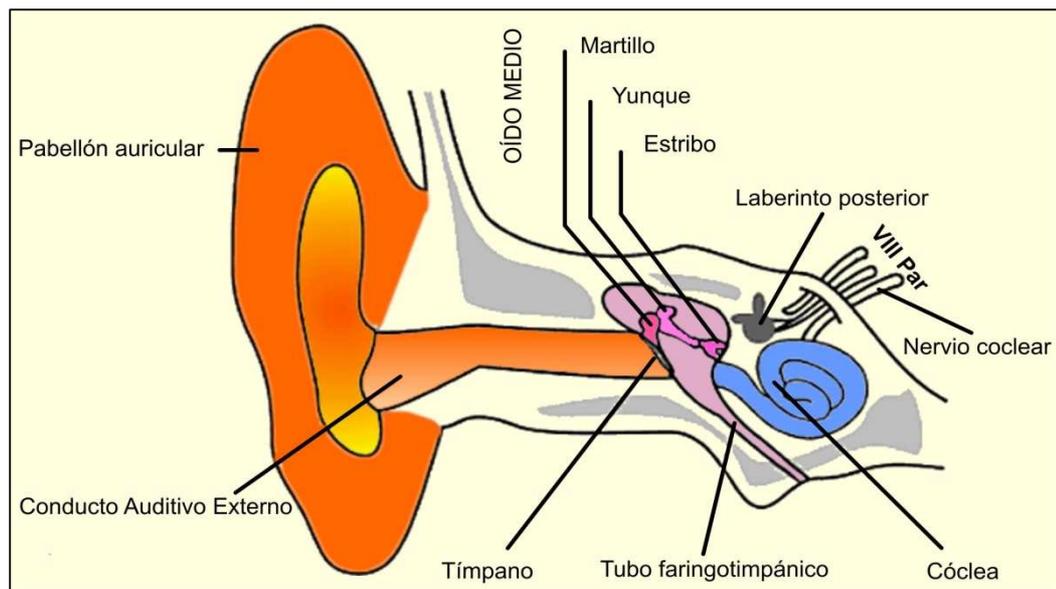


Figura 4. Representación esquemática del oído

Adaptado de Morera y Algarra, 2006.

- El segundo componente, la **cóclea** (de color azul en la Figura 4), es el elemento encargado de la transducción. Recibe un impulso mecánico a través de la ventana

oval y lo convierte en una señal neuroeléctrica. De forma muy esquemática, esta sale a través de la lámina espiral, hasta llegar al ganglio espiral de Corti, cuyos axones centrales forman el nervio coclear que se integrará en el VIII par craneal hasta alcanzar el área de audición primaria o área 41 de Brodmann (Sánchez, 2003).

De modo que, el órgano periférico fundamental en la audición, la cóclea tiene forma de espiral, y se encuentra dividida por dos membranas en tres canales o rampas. La rampa vestibular es la superior y se encuentra en contacto con la ventana oval. La rampa timpánica es la inferior y en ella se encuentra la ventana redonda. La rampa central es la que contiene el órgano de Corti.

La cóclea se enrolla dos vueltas y media, de ahí su denominación que significa caracol en griego. Posee una organización tonotópica, los sonidos de alta frecuencia estimulan la base de la cóclea, mientras que los sonidos de baja frecuencia estimulan el ápice. Esto es debido a que las ondas sonoras obligan a que la ventana oval y la redonda se muevan en direcciones opuestas; lo que origina que la membrana basilar se desplace y se inicie una onda que viaja desde la base hacia el ápex de la cóclea.

El incremento de la amplitud de la onda según avanza, hace que alcance un pico máximo en un lugar que está directamente relacionado con la frecuencia del sonido, de modo que a cada tono le corresponde un lugar y cada lugar responde a un tono, siendo esto lo que se conoce como organización tonotópica. Esta distribución se puede observar en la Figura 5.

Como consecuencia de esta distribución las frecuencias bajas se encuentran en el núcleo central del nervio coclear, y las frecuencias altas en el exterior.

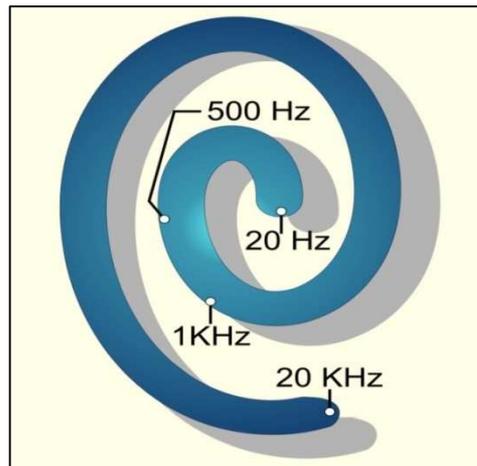


Figura 4. Esquema de tonotopía coclear.

Elaboración propia (Coreldraw ©)

Los parámetros básicos del SA: rango frecuencial, rango dinámico y la relación entre frecuencia e intensidad pueden observarse en la Figura 6; donde se muestran los siguientes umbrales: el liminar de audición que viene expresado en decibelios de presión sonora (en inglés “*Sound Pressure Level*” de donde adquieren las siglas: dB SPL) que varía según la frecuencia, ya que no se trata de dB de nivel de audición o en inglés “*Hearing Level*” (dB HL) los cuales son obtenidos a través de curvas isofónicas (Gómez, 2006). Por otra parte, aparece el umbral de dolor, en la parte superior de la gráfica. Como en todas las medidas psicofísicas, estos umbrales tienen variaciones intrasujetos e intersujeto; además de una gran dependencia de las condiciones de propagación del sonido.

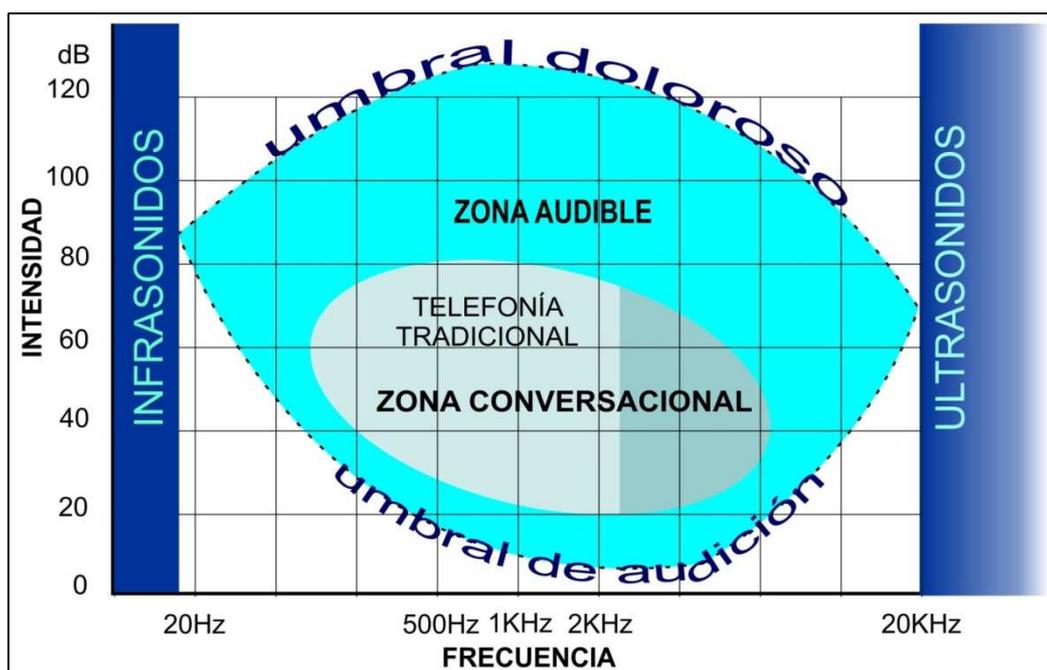


Figura 5. Umbrales, campo telefónico y zona conversacional.

Elaboración propia (Coreldraw ©)

El SA tiene una capacidad de resolución frecuencial, lógicamente, que varía con la frecuencia que analiza; en principio la cantidad de células ciliadas que se encargan de la transducción en el órgano de Corti desciende según aumenta la frecuencia, en segundo lugar la importancia del análisis resolutivo sólo resulta fundamental en la zona conversacional. Según Nordmark (1978) la capacidad de resolución en 100Hz es de 0,2Hz, en 2KHz de 1,5 Hz y en 12KHz de 30 Hz. De modo que, siguiendo a este autor, el umbral tonal diferencial en 100 Hz es 150 veces superior que en 12KHz.

Para realizar la compresión de sonido que requieren la mayoría de las aplicaciones actuales los ingenieros recurren a algoritmos basados en la psicoacústica. El más usado en la actualidad, fue propuesto por el físico alemán Eberhard Zwicker a principios de la década de los sesenta, es la escala de Bark, el cual usa la “banda crítica” para referirse a las frecuencias que configuran un ancho de banda del “filtro auditivo coclear” en el que un segundo tono no enmascara la frecuencia de otro y, de este modo, puede ser escuchado nítidamente, algo que resulta fundamental para que el oído humano detecte los formantes que determinan un fonema, ya que si estos ocupan la misma banda existirá un enmasca-

ramiento entre ellos.

Una aproximación para obtener las 24 bandas críticas bark puede obtenerse formulando para $f < 500\text{Hz}$; $1 \text{ bark} \approx f/100$ y para $f > 500\text{Hz}$; $1 \text{ bark} \approx 9 + 4 \log(f/1000)$. Para hacer los cálculos se ha de saber que las frecuencias centrales, expresadas en hercios, desde donde se han calculado son: 50, 150, 250, 350, 450, 570, 700, 840, 1000, 1170, 1370, 1600, 1850, 2150, 2500, 2900, 3400, 4000, 4800, 5800, 7000, 8500, 10500 y 13500. Los anchos de banda fluctúan desde los 80 Hz en la primera, hasta los 3500 en la última (Smith y Abel, 1999).

Por otra parte, existe una escala tonal perceptual denominada escala de Mel en la que 100 mels equivalen al ancho de una banda crítica centrada en la frecuencia media. Esta escala comienza igualando 1000 mels a 1kHz a una intensidad de 40 dB, a partir de esta referencia se realizan divisiones tonales equidistantes basadas en normalizaciones obtenidas en oyentes experimentados.

En la Figura 6 puede observarse la relación que se establece entre mels y hercios; aunque es fácil realizar la conversión con la siguiente fórmula: $\text{mel} = 2595 \log_{10}(1 + f/700)$ (O'Shaughnessy, 1990).

Indudablemente, la escala de Mel resulta completamente lineal psicoacústicamente al haber sido elaborada de acuerdo a la medida procesual del oído humano, los incrementos en un mel corresponden a las acentuaciones que percibe nuestro oído; con ella se pueden realizar medidas del umbral diferencial tonal, de acuerdo con una escala ergonómica, sin tener que recurrir a artefactos de ningún tipo.

De hecho, la escala de mel se utiliza para aplicaciones de ingeniería con relación a la voz humana desde el último tercio del siglo pasado (Itahashi y Yokoyama, 1978), aunque en los últimos años su uso se ha extendido a la evaluación de la calidad del habla y la voz para aplicaciones clínicas (Arias-Londoño, Godino-Llorente, Markaki y Stylianou, 2011; Fraile, Saenz-Lechon, Godino-Llorente, Osma-Ruiz y Fredouille, 2009).

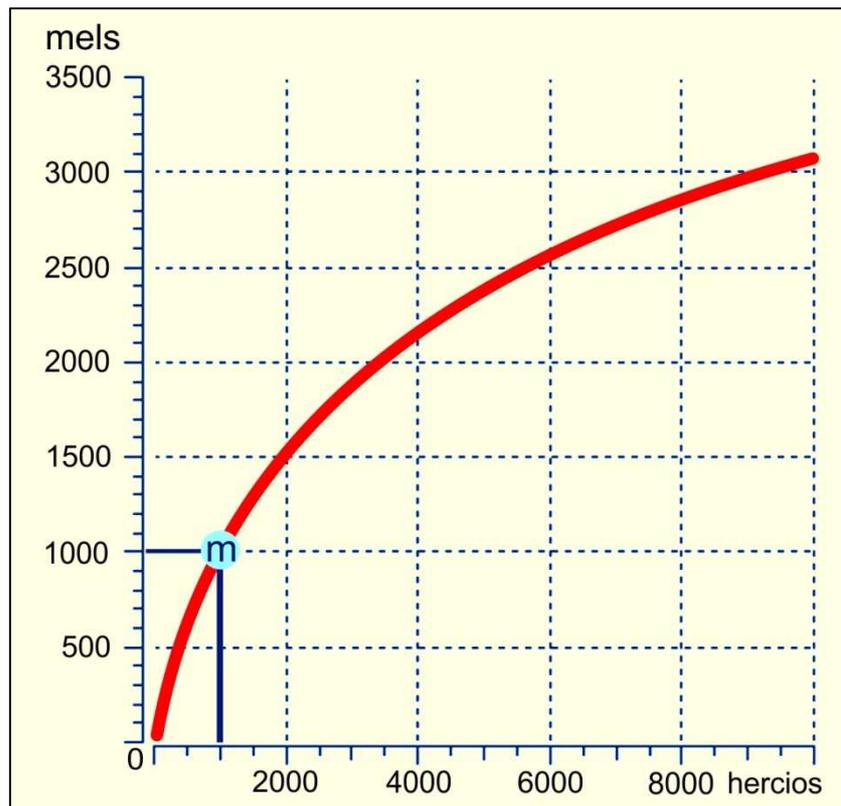


Figura 6. Relación mels/hercios.

Elaboración propia (Coreldraw ©)

Cualquier estudio sobre la medición de la percepción de la tonalidad humana debería tener en cuenta las bandas críticas en barks y las diferencias tonales en mel, ya que son las escalas que integran el conocimiento acumulado sobre la percepción de la altura en la distinción de los diferentes fonemas.

4.4 Discriminación auditiva y frecuencia

En este apartado se vincularán los trastornos de lenguaje que cursan con alteraciones fonológicas de la expresión oral, y los trastornos de la lectura (como es el caso de la dislexia) con la dificultad para discriminar la altura tonal; ya que cuanta más diferencia tonal

necesite un niño para diferenciar dos sonidos más difícil será la distinción de dos fonemas similares.

De hecho, volviendo a la *Figura 3*, la resolución frecuencial que debe realizarse para distinguir [s] de [f] es muy alta; si se quieren diferenciar estos dos fonemas, se deberá de ser capaz de percibir diferencias muy pequeñas de mels, quizás por eso las confusiones de los niños entre estas dos consonantes son tan comunes.

La prueba subjetiva por excelencia para el diagnóstico de las hipoacusias es la audiometría tonal liminar. Esta consiste en determinar el umbral auditivo en 7 frecuencias que conllevan una diferencia de una octava sucesivamente. Cuando no son encontradas caídas en el umbral no se diagnostica hipoacusia. Lo cual no significa que el sujeto perciba correctamente las diferencias de tono entre las distintas frecuencias, sólo se sabe que las oye a una determinada intensidad; pero si un sujeto no detecta diferencias mínimas de altura no distinguirá correctamente la palabra hablada.

Con relación a las alteraciones del lenguaje, se ha hecho patente una correlación con el déficit de discriminación auditiva como muestran los estudios que se citan a continuación. Los trabajos que no han conseguido correlacionarlos han incurrido en errores de tipo psicoacústico en la utilización de las diferencias tonales.

Una forma de estudiar la discriminación auditiva ha sido a través de la técnica de potenciales evocados (PE), la cual consiste en la medición de la respuesta neuroeléctrica cerebral como resultado de una actividad sensorial, cognitiva o motriz. La “*Mismatch Negativity*” (MMN) o **potencial de disparidad**, es un componente de los potenciales evocados que responde a un estímulo extraño o poco frecuente en una secuencia de estímulos repetitivos, por ejemplo en una serie de *clicks* de 700 Hz integrar uno de 1000 Hz (NäätänenI, Paavilainen, Rinne y Alho, 2007).

Entre otros campos, la MMN se ha utilizado en estudios para la investigación de la discriminación de frecuencias en niños con Trastorno Específico de Lenguaje (TEL). Los resultados de los diferentes trabajos han obtenido resultados contrapuestos, unos encontraron una disminución en los niños TEL para discriminar frecuencias próximas y otros no las

hallaron. Las siguientes publicaciones muestran que sólo se encuentran estas diferencias cuando la diferencia frecuencial entre los estímulos es adecuada.

Así por ejemplo, autores como Cheour, Korpilahti, Martynova y Lang (2001) usaron la MMN para determinar la existencia de diferencias entre la discriminación auditiva de niños con TEL y sin él. Utilizaron tonos sinusoidales de 500 Hz (607 mels) frente a 553 Hz (656 mels). Es decir, midieron una diferencia tonal de 49 mels y observaron que la amplitud de la MMN de los niños con TEL difería significativamente, durante la discriminación de frecuencia, de los grupos de control; los niños con TEL necesitaban mayor diferencia entre tonos para diferenciar los estímulos auditivos que el grupo control.

En otro estudio con niños de 7 a 11 años y utilizando el mismo componente (MNN) mediante esta técnica, Rinker, Kohls, Richter, Maasa, Schulz y Schecker (2007) emplearon tonos sinusoidales con una diferencia tonal de 39 mels en un grupo control y otro experimental (diagnosticado con TEL); y obtuvieron diferencias significativas entre ambos grupos que confirmaban los resultados de Cheour et al. (2001).

Sin embargo, Uwer, Albrecht y Suchodoletz (2002) no encontraron diferencias en la discriminación del tono, utilizando la MMN, cuando compararon un grupo control y otro experimental de niños con TEL. Los resultados mostraron que ambos grupos eran homogéneos con relación a la discriminación frecuencial. Había sido utilizado, para la prueba de diferenciación en altura, un tono de 1000 Hz y otro de 1200 Hz. Se habían intentado encontrar respuestas diferentes en ambos grupos con una diferencia de 125 mels. Si se hubieran encontrado, hubiera implicado un grado elevadísimo de déficit, en el umbral diferencial tonal, en los sujetos TEL, algo que no esperaban los otros estudios, y que implicaría deficiencias auditivas.

Con relación a la posible vinculación de la lectura con el umbral diferencial tonal, un estudio de Mengler, Hogben, Mitchie y Bishop (2005) con niños con TEL (N=15) y grupo de control (N=18) partía de un triple objetivo: determinar si los niños con TEL tienen dificultades para discriminar y si esta dificultad discriminativa responde a una dificultad auditiva derivada de problemas auditivos más generales y, por último, si los problemas discri-

minativos aparecían vinculados a la lectura o a la capacidad del lenguaje oral. Para ello sometieron a ambos grupos a tareas de discriminación de frecuencias y pruebas de detección de intensidades. Los niños con TEL demostraron un rendimiento significativamente peor en la tarea de discriminación de frecuencias con un umbral diferencial de 58 Hz frente a los 25 Hz del grupo control, pero no en la tarea de discriminación de intensidad que obtuvieron las mismas medidas con lo que quedaba descartada la hipoacusia. Observaron que la discriminación de frecuencias no estaba relacionada con la capacidad de lectura en ninguno de los dos grupos.

Sin embargo, varios estudios (para una revisión ver Bishop, 2007; Lovio, Näätänen y Kujala, 2010), con relación a los problemas de lectura y la discriminación frecuencial, sugieren que determinados tipos de dislexia ya se encuentran expresados en etapas tempranas con un sesgo en la memoria sensorial auditiva, siendo esta la responsable de las alteraciones observadas en las comparaciones de la MMN entre los grupos experimentales de disléxicos y los grupos de control.

4.5 Procesamiento del habla

Desde la publicación del modelo de flujo dual de procesamiento del habla (*Dual-stream of speech processing*, DSP) de Hickok y Poeppel (2007) existe una visión de conjunto en el procesamiento de la palabra, ya que se cohesionaron la gran mayoría de los estudios que se habían realizado hasta la fecha sobre el procesamiento central del habla.

La teoría DSP, describe dos vías para el procesamiento de la palabra:

- una corriente o flujo ventral (en rosa en la **Figura 7**), formada por estructuras de las partes superior y media del lóbulo temporal, que procesa las señales para el reconocimiento, procesamiento y la comprensión de la palabra.

- Una corriente o flujo dorsal encargada de la percepción de señales externas e integrada por estructuras del lóbulo frontal posterior, la cara dorsal más posterior del lóbulo temporal y el opérculo parietal, que asigna las señales acústicas del discurso a redes articulatorias del lóbulo frontal (en azul y verde en la Figura 7).

En el modelo DSP la corriente ventral está organizada bilateralmente utilizando un

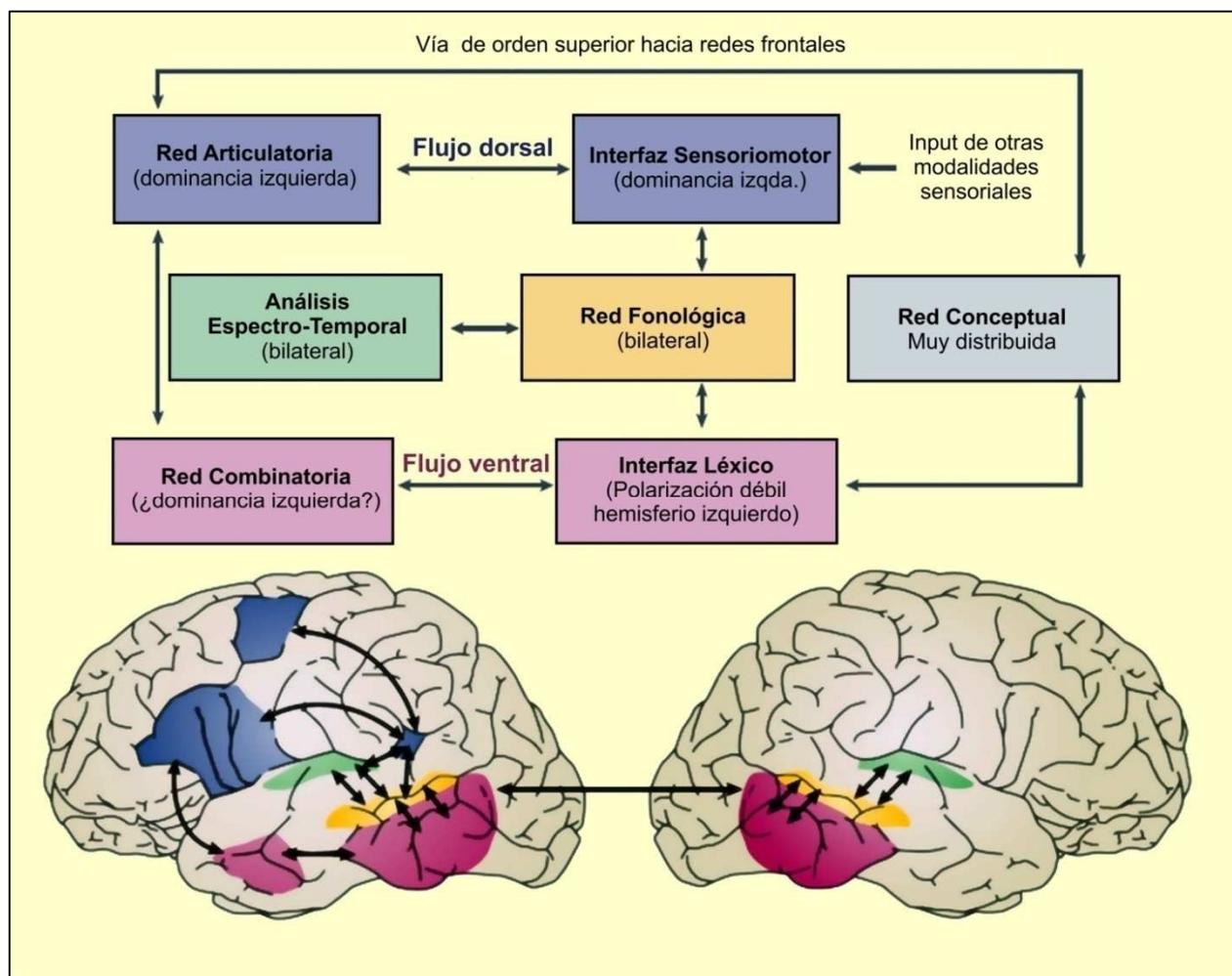


Figura 7. Vías dorsal y ventral.

Extraído de Hickok y Poeppel, 2007.

procesamiento de flujo en paralelo, lo que supone un claro contraste con la visión anterior

en la que el procesamiento del habla era de dominancia, casi exclusiva, del hemisferio izquierdo; sin embargo, la corriente dorsal tiene gran dominancia izquierda, lo que explica que las lesiones del hemisferio izquierdo afecten al rendimiento en las tareas de percepción del habla.

La etapa inicial del procesamiento cortical del habla implica un análisis espectral y temporal de la señal acústica (en verde en la Figura 7), que se realiza bilateralmente en el plano supratemporal, aunque este procesamiento no es igual en ambos hemisferios.

El procesamiento y representación fonológica implica de forma bilateral la mitad de las porciones posteriores del surco temporal superior, aunque puede haber una ligera polarización hacia el hemisferio izquierdo. Ulteriormente, el sistema se bifurca en la vía dorsal que correlaciona las representaciones sensoriales con las representaciones articulatorias, y la vía ventral que asigna las representaciones fonológicas a las representaciones conceptuales léxicas.

La corriente dorsal también conecta con el sistema motor y este circuito auditivo-motriz proporciona los mecanismos neurales para la memoria fonológica a corto plazo, de acuerdo con la teoría motriz del habla propuesta por Liberman y Mattingly (1985), siendo el desarrollo del habla una función esencial del circuito dorsal de integración auditivo-motriz.

La DSP plantea un tratamiento multi-temporal en el que la palabra se procesa simultáneamente en dos escalas temporales gracias a dos corrientes separadas; una rápida, en torno a los 20-50 ms para el análisis fonético y otra lenta, alrededor de los 130 ms para los elementos suprasegmentales. El análisis de la información en las escalas de tiempo lenta se realiza en el hemisferio derecho y el de la escala rápida sería bilateral, pero el papel fundamental de la dominancia izquierda sería en la predisposición de este hemisferio al tratamiento categorial de la información acústica. Posteriormente a los análisis corticales de naturaleza acústica la información que ha sido extraída se combina para obtener acceso al nivel léxico.

Este modelo ha supuesto una base para investigaciones posteriores, como por ejem-

plo la explicación de los desórdenes disléxicos de Boets et al. (2013) que lo imputan a un déficit de conectividad funcional entre las áreas auditivas primarias y secundarias bilaterales y la circunvolución frontal inferior izquierda, siguiendo la DSP esto es una disfunción en la corriente dorsal.

De acuerdo con esto la dislexia es un trastorno causado por el deterioro en la capacidad de operar con los sonidos del habla, esto es un déficit en la conciencia fonológica. De modo que la conciencia fonológica relaciona directamente el análisis y tratamiento de la información auditiva con la lectura.

4.6 El análisis auditivo y el aprendizaje lector

El lenguaje oral se adquiere de forma natural, a diferencia de la lectura que es una actividad lingüística secundaria, ya que se deriva del habla y necesita instrucción para su adquisición (Liberman y Shankweiler, 1985).

Desde la perspectiva de la pedagogía es necesario conocer cuáles son todos los factores que inciden en el aprendizaje del lector incipiente, qué factores deben ser tenidos en cuenta y en qué medida existe una relación con las funciones auditivas.

Sellés y Martínez (2008) delimitan los tipos de elementos básicos referenciados en el acceso a la lectura, a saber:

1. Prerrequisitos.
 - a. Conocimiento alfabético.
 - b. Velocidad de denominación.
 - c. Conocimiento fonológico.
2. Facilitadores.
 - a. **Habilidades lingüísticas** referidas al conocimiento del propio idioma.
 - b. **Procesos cognitivos básicos**, tales como la memoria operativa, la me-

moria declarativa semántica, la discriminación perceptiva y la capacidad atencional.

- c. **Conocimiento metalingüístico** que implica el conocimiento sobre los componentes de lo escrito y sobre las funciones de la lectura.
- d. **Motivación y actitud**, necesarias para realizar el aprendizaje.

De la clasificación expuesta anteriormente, explicaremos brevemente los dos primeros prerrequisitos y nos extenderemos en el último, ya que es el que más íntimamente se relaciona con la discriminación y el análisis espectral en la palabra.

El primero, el **conocimiento alfabético** aparece muy citado en la literatura específica (Bravo, Villalón y Orellana, 2006); se trata de la capacidad del niño para denominar las grafías o decir el sonido que evocan, p. e. el niño al ver una lámina con la grafía “M” es capaz de decir “eme” o reproducir su sonido /m/.

El segundo, la **velocidad de denominación**, conocida en inglés por su acrónimo RAN, es una tarea que mide la rapidez de los niños para nombrar en voz alta objetos, imágenes, colores o símbolos (letras o números). La RAN de nombres de colores, objetos, números y letras medidos en los niños antes de aprender a leer predice posteriores diferencias en la habilidad lectora, mientras que las diferencias iniciales en la capacidad de lectura no predicen posteriores diferencias en la RAN (Denckla y Rudel, 1974).

Por último, el **conocimiento fonológico** (CF en adelante) es la variable de mayor fuerza predictiva de la lectura inicial, habiendo sido confirmado en gran número de investigaciones desde finales la década de los setenta del siglo XX hasta el presente (Guardia, 2003; Stanovich, 2002; Vellutino y Scanlon, 2002).

En sentido estricto, CF es la habilidad para identificar, segmentar, combinar o eliminar, intencionalmente, las unidades subléxicas de las palabras hasta el fonema (Defior y Serrano, 2011). En suma, es un acceso consciente al aspecto fonológico del flujo del habla, y cierta habilidad para manipular representaciones cognitivas en este aspecto (Stanovich, 1986).

Es evidente que el niño que lee tiene que ser capaz de manejar unidades subléxicas como los fonemas relacionando la grafía con el fonema. Sin embargo, la CF sólo se adquiere correctamente con el aprendizaje lector (Gallego, 2006).

Del mismo modo, el déficit de CF lleva a un déficit en la lectura que a su vez implica problemas de CF, algo conocido como el efecto Mateo descrito por Stanovich (1986) y que deriva su nombre de un pasaje existente en el Nuevo Testamento: *"Porque a todo el que tiene, se le dará y le sobrar ; pero al que no tiene, aun lo que tiene se le quitar "*, Mateo 25:29.

Se ha de destacar que el análisis auditivo natural que realizan los niños hispanohablantes es fundamentalmente silábico, por la propia estructura de nuestro idioma. A través de la experiencia se puede constatar que, si le pedimos a un niño de más de 4 años que hable como un robot no tendrá ningún tipo de problema en realizarnos segmentaciones silábicas como en este ejemplo "soy-un-ro-bot".

Ahora bien, si le pedimos a un niño de 6 años, sin conocimiento lector, que nos diga cuántos sonidos oye cuando decimos "pala" será incapaz de hacerlo. Por ello, algunos autores se cuestionan si la conciencia fonémica es anterior o posterior a la adquisición de la lectura y piensan que llegar a este tipo de segmentación es un proceso artificial, como demuestran los estudios hechos con adultos analfabetos para averiguar su capacidad de análisis fon mico (Alegría y Morais, 1979).

La pregunta que se debe plantear es qué aspectos procesuales tanto del S.A. como corticales son los responsables de la CF. Publicaciones como las realizadas por Hickok et al. (2007) y Boets et al. (2013) llevan la CF y, en consecuencia, el mayor responsable del aprendizaje inicial de la lectura, a la coherencia de las explicaciones neuropsicológicas, que el modelo DSP puede dar sobre el conocimiento del habla.

4.7 Cuando sólo el habla falla

Perelló, Ponces y Tresserra-Llauradó (1981) definen la dislalia como un trastorno en la articulación de los fonemas por alteraciones funcionales en los órganos periféricos del habla. De este modo realizan una clasificación básica en dislalias funcionales y dislalias orgánicas, estas últimas las dividen en disglosias y audiógenas. Así que su clasificación entra en contradicción con la definición inicial, ya que las disglosias implican una alteración morfológica de los órganos periféricos.

Desde un punto de vista nosológico se debería de definir la dislalia como una entidad clínica-semiológica, aunque se desconozca su etiopatogenia.

García (1988) realiza una definición de la dislalia, de acuerdo con la que se utiliza en la práctica clínica actual, como un defecto o incapacidad para pronunciar o formar correctamente ciertos fonemas o grupos de fonemas sin que existan alteraciones orgánicas, ni periféricas ni centrales. Pero no queda explicitado de qué dependen las formas en que estas alteraciones del discurso se producen, si responden a patrones eferentes, por déficits práxicos, o alteraciones en los patrones perceptivos que han sido insertos en la memoria a largo plazo auditiva, creando *gnosias* auditivas incorrectas.

Más recientemente Bosch (2003) equipara los términos dislalia, trastorno articulatorio, trastorno fonético, retraso del habla y trastorno fonológico. La dislalia es identificada como un vocablo de entornos clínicos para referirse a alteraciones funcionales del habla que no conllevan ningún tipo de alteración en los órganos centrales ni periféricos. Algo parecido realiza la ASHA (2011) con su normalización de códigos, basada en la “*American Medical Association*”, donde con la codificación A45 se incluyen:

1. Trastornos del desarrollo de la articulación.
2. Dislalia
3. Trastorno fonológico

Bosch (2003) distingue entre los trastornos fonológicos “puros” o de afectación exclusivamente fonológica y los de tipo fono-sintáctico que se encuentran dentro de una sub-categoría de TEL. Dentro de las alteraciones exclusivamente fonológicas distingue tres subtipos básicos definidos por la sintomatología y el posible déficit procesual:

1. **Retraso fonológico.** Comete errores típicos de edades cronológicas anteriores a la suya, por lo que se deriva de una deficiente maduración.
2. **Sistema fonológico desviado sistemático.** Responde a un déficit cognitivo-lingüístico, donde no están asimiladas las reglas fonológicas del idioma.
3. **Sistema fonológico inconsistente.** Corresponde a un retraso del habla y una posible incorrección relacionada con la preparación, almacenamiento o recuperación de la información fonológica.

En lo relativo a la manifestación sintomatológica distingue las alteraciones por los tipos de procesos afectados, realizando la siguiente clasificación:

1. **Sistémicos.** Resultan de malas producciones de los fonemas, con lo que el sistema fonológico se ve alterado; por ejemplo, no pronunciar el fonema /s/ o pronunciarlo incorrectamente.
2. **Estructurales.** Este tipo de procesos son los que afectan a la estructura de la sílaba y la palabra; por ejemplo, la reducción de un grupo consonántico “/aba/” en lugar de “/abla/”.
3. **Asimilatorios.** Son sustituciones aisladas que no siguen las pautas de los procesos sistémicos. Aquí distingue dos categorías:
 - a. **Por el punto de articulación.** Se asimilan puntos articulatorios próximos, labiales, velares, palatales, etc.
 - b. **Por el modo de producción.** Se asimila por la forma en que se produce

el fonema, por ejemplo: /tambor/ se convierte en /tambon/ merced de una asimilación nasal.

La tipificación que realiza Bosch (2003) de la dislalia, aunque es la más elaborada de las publicadas en español, limita el proceso de investigación neuropsicológica en este campo. De modo que se deberían de realizar algunos matices para abordar una investigación eficaz sobre los procesos causales de la dislalia. Para lo cual, en primer lugar, se ha de acotar la definición de dislalia a lo que actualmente se llama dislalia funcional, definida anteriormente por García (1988). De este modo se observa que los errores en la articulación fonológica pueden deberse a dos causas:

1. Representaciones incorrectas del patrón acústico del fonema o la palabra.
2. Eferencias motoras, debidas a un patrón motor incorrecto. Malas posiciones articulatorias y disfuncionalidad del modelo articulatorio.

De acuerdo con el modelo DSP, en ambos casos existe una disfuncionalidad en la vía dorsal, ya que si existiese en la vía ventral se observarían problemas de acceso al léxico, además de las alteraciones fonológicas y en este caso se estaría ante un sub-tipo de TEL.

Por otra parte, siguiendo el mismo modelo, las alteraciones en la vía dorsal podría deberse a:

1. **Análisis Espectrotemporal.** Tratamiento deficitario de la señal acústica, bien por la acción de la corteza de audición primaria del temporal derecho (análisis suprafonológico), bien por la acción del temporal izquierdo (análisis rápido de la señal, determinación de fonemas). Esto generaría modelos acústicos incorrectos que sesgarían todo el procesamiento posterior del habla.
2. **Déficits en la integración** de las señales acústicas inter-hemisféricas.
3. **Interface Sensorimotor.**
4. **Red Fonológica.**

5. **Red articularia.**
6. **Cualquiera de las conexiones** de las diferentes estructuras que enlazan las anteriores zonas funcionales.

5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN (METODOLOGÍA)

5.1. Problema que se plantea

De acuerdo con la exposición del marco teórico, se ha visto que las diferencias en la capacidad de detección tonal de 125 mels no representan una diferencia entre grupos TEL y grupos control (Uwer et al., 2002). Por lo que cabe preguntarse si la capacidad de detección de diferencias menores en los tonos puros diferenciará sujetos sin trastornos fonológicos de los que los presentan, o habrá una tendencia a partir de una determinada cifra de mels a tener más dificultades para discriminar correctamente. ¿Serán en el niño todas las frecuencias igual de importantes para la discriminación de la palabra? ¿Será trascendente la discriminación del tono relativo para el habla en castellano? ¿Y para la lectura?

En definitiva, se desea saber si el umbral de diferenciación tonal para un tono puro y la comparación de tonos puros tendrán una incidencia en la discriminación silábica; si los trastornos fonológicos y la detección de estas diferencias tonales mantendrán una relación y, por último, si la lectura se verá influida.

En este TFM se utilizará el análisis correlacional para poder determinar la relación entre la diferenciación tonal, la comparación de pares de tonos (tono relativo), la discriminación de la sílaba, las dislalias y el aprendizaje lector.

5.2 **Objetivos e Hipótesis**

El **objetivo general** de este TFM es saber si en castellano existe una relación entre la detección mínima en la altura (usando ondas senoidales en la banda de 300 Hz, y en la de 3000 Hz) y la comparación de pares de tonos, con la discriminación silábica, la existencia de trastornos fonológicos y la adquisición de la lectura (usando métodos de enseñanza de la lectura ascendentes de tipo fonológico).

Este objetivo general se subdivide en cuatro **objetivos específicos**:

1. Observar si los déficits para identificar correctamente los tonos senoidales en la banda de 300 Hz no se encuentran relacionados con la discriminación de la palabra, las dislalias y la lectura.
2. Analizar si la insuficiencia para diferenciar alturas mínimas en la banda de 3000 Hz se relaciona con la discriminación de la palabra, las dislalias y la lectura.
3. Comprobar si la competencia para mantener las diferencias entre dos pares de tonos en la banda de 300 Hz está vinculada con la discriminación de la palabra, las alteraciones fonológicas y la lectura.
4. Determinar si la capacidad para mantener las diferencias entre dos parejas de tonos en la banda de 3000 Hz se asocia con la discriminación de la palabra, las alteraciones fonológicas y la lectura.

De modo que la hipótesis que se plantea es:

La incorrecta detección y comparación de pequeñas diferencias tonales en frecuencias en la banda de 3000 Hz, pero solamente la comparación de las frecuencias próximas a F_0 (en la banda de 300 Hz) y no su detección, está relacionada con la discriminación silábica deficitaria, los trastornos fonológicos y el déficit del acceso a la lectura por métodos fonológicos.

lógicos de enseñanza.

5.3 *Diseño*

Este Trabajo Fin de Máster realiza un estudio no experimental, de tipo descriptivo y correlacional. No se ha pretendido establecer, lógicamente, ningún tipo de relación de direccionalidad causal entre las 5 variables que se han analizado.

5.4 *Población y muestra*

La muestra que se utilizó fue de 38 sujetos, 21 niñas y 17 niños, escolarizados en un colegio público de Palma de Mallorca. Los cursos escolares de pertenencia eran:

- 6º de Educación Infantil (10 alumnos).
- 1º de Educación Primaria (28 alumnos).

Las edades oscilaron de 60 a 81 meses, con una distribución normalizada, obteniéndose una media de 72,58 meses (6.04 años) y una desviación típica de 6,5.

Para seleccionar la muestra se utilizaron los siguientes criterios de exclusión:

- Patologías sensoriales de índole agudo o crónico (auditivas y visuales).
- Trastornos de la comunicación.
- Retrasos graves del lenguaje.
- Trastornos fonológicos por patrones motores disfuncionales.
- Déficits motores.
- Trastornos de atención.

- Alteraciones del comportamiento.
- Retraso curricular superior a 1 curso escolar.
- Niños procedentes de otros centros o con los que no se hubieran utilizado métodos de lectura fonéticos para la enseñanza de la lectura.

De esta forma se pretendía obtener una muestra sin ningún tipo de hándicap a excepción de un trastorno fonológico sin déficit de patrón motor y con el mismo enfoque de aprendizaje lector, esto es el método fonológico.

En primer lugar se revisaron los informes escolares; posteriormente se mantuvieron entrevistas con los maestros, el equipo de apoyo del centro (profesores de pedagogía terapéutica, logopeda y psicólogo escolar) y las familias de los niños que serían incluidos en la muestra, en este momento se aprovechó para solicitar una autorización escrita para la inclusión del niño en el estudio.

Para los criterios de exclusión relacionados con el lenguaje y la audición el maestro especialista en audición y lenguaje revisó individualmente toda la muestra, de modo que los trastornos fonológicos que se cribaron fueron los relacionados exclusivamente por deficiencias de tipo práxico.

5.5 Variables e instrumentos aplicados

Variables

De acuerdo a los objetivos planteados, la investigación llevada a cabo cuenta con un total de 5 variables dependientes: Dislalias; Lectura; Discriminación de Logotomas; umbral diferencial de detección tonal y umbral diferencial tonal en la comparación de parejas de tonos.

No hubo variables independientes.

A continuación se establece una clasificación y definición de las variables dependientes medidas.

VARIABLES DEPENDIENTES CUALITATIVAS DICOTÓMICAS:

- La variable **Dislalias (“DSL”)** informa si el sujeto presenta o no un lenguaje con dislalias o problemas en la articulación. Si presenta dislalias se categoriza como

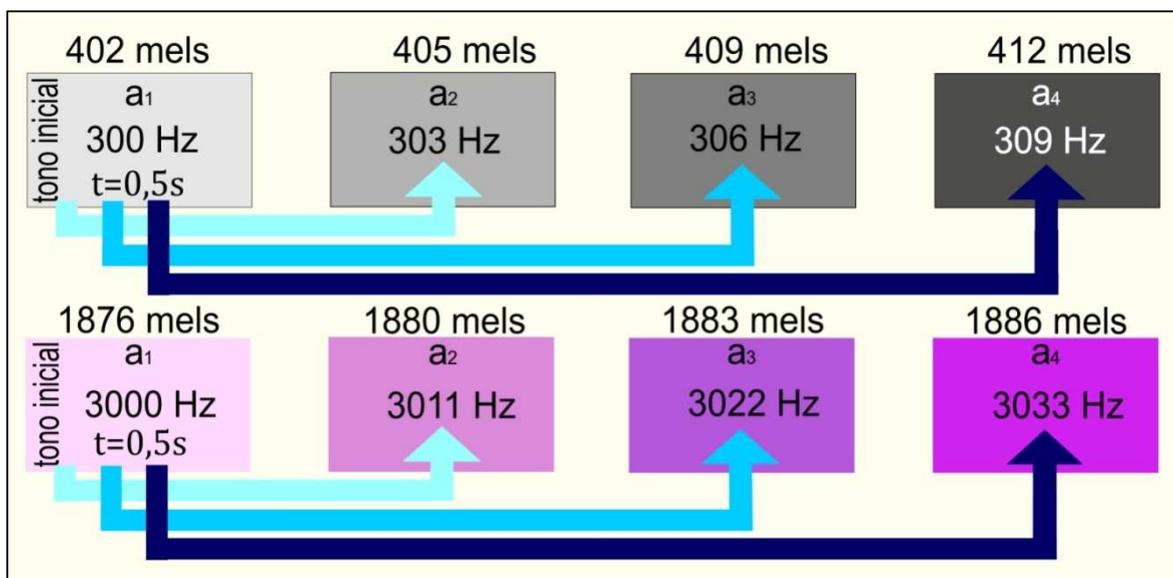


Figura 8. Equivalencias de las secuencias de estímulos en Hz y Mel.

Trastorno Fonológico (“T. F.”), en caso contrario como “No T. F.”.

- La variable **Lectura (“LEC”)** categoriza los sujetos en dos clases: como lectores o alfabetizados, marcando “Lee” o como no lectores “No lee”.

VARIABLES DEPENDIENTES CUANTITATIVAS:

- La variable **Logotomas (“LGT”)** muestra los errores que han cometido los sujetos en la discriminación auditiva de un listado de sílabas. Su valor podría oscilar entre 0 –ningún error- y 28 errores –todos los ítems errados-.

- La variable **umbral diferencial de detección tonal** y la variable **umbral diferencial tonal en la comparación de parejas de tonos** incluyen una serie de dimensiones (D, d3 y d3K; C, c3, c3k y DC respectivamente) que serán explicadas junto a la descripción del instrumento de medida correspondiente.

Instrumentos aplicados

- ✓ Subtest de “Discriminación auditiva de Logotomas” de la Evaluación de la Discriminación Auditiva y Fonológica (EDAF) de Brancal, Ferrer, Alcantud y Quiroga (2009);
- ✓ Prueba de detección de diferencia tonal, por mels (D);
- ✓ Prueba de comparación de parejas de tonos (C).

Subtest de “Discriminación auditiva de Logotomas” del EDAF

La prueba EDAF tiene la finalidad de detectar alteraciones en el ámbito de la discriminación auditiva desde los 3 años a los 7.

Consta de cinco sub-pruebas:

1. Discriminación de Sonidos del Medio.
2. Discriminación Figura-Fondo Auditiva.
3. Discriminación Fonológica en Palabras.
4. Discriminación Fonológica en Logotomas.
5. Memoria Secuencial Auditiva.

El sub-test de la EDAF utilizado en la presente investigación ha sido el de Discriminación Fonológica en Logotomas. Este subtest evalúa la capacidad del sujeto para diferenciar entre un trío de sílabas directas. La administración de la prueba se realiza como sigue:

- ✓ El administrador da al niño la siguiente instrucción: “A continuación vas a oír va-

rios sonidos. Quiero que los escuches atentamente y digas si son iguales o no.

- ✓ Acto seguido, a través de los altavoces, se presentan los estímulos, por ejemplo: "PA PA PA".
- ✓ El sujeto contesta y la respuesta se señala en una hoja que ofrece tres posibilidades: "Sí, No y No sabe/No contesta"

La prueba consta de listado de 30 elementos, los dos primeros son de ejemplo.

La presentación auditiva de las series de estímulos se realiza a través de un Disco Compacto que se adjunta con la EDAF.

En esta prueba utilizaremos el número directo de errores que comete el sujeto (puntuación directa), ya que existen errores fonológicos de desarrollo que nos interesa medir y no usar las formas tipificadas según los grupos de edad. De modo que, de esta prueba se han tomado exclusivamente los estímulos y no su corrección normalizada.

Prueba de Umbral Diferencial de Detección Tonal (D)

Mide la capacidad de detectar diferencias tonales en mels, sin tener en cuenta la memoria operativa y con una participación de la atención normal.

Se utilizaron 2 de las 24 bandas críticas de la escala de bark: 300 Hz y 3000 Hz de esta forma se observaron las respuestas correspondientes al entorno de la voz humana F_0 (300 Hz) y la correspondiente a frecuencias más altas, alrededor de algunos F_2 o F_3 (3 KHz), dependiendo del fonema.

Se administraron tonos senoidales o puros de 0,5 s de duración y concatenados (sin pausa temporal) con una diferencia de 3-4 mels a intensidades conversacionales (35-50 dB), que el sujeto debía escuchar cómodamente, durante 4 segundos.

Por ejemplo, el tono "a₁"=300 Hz y el tono "a₃"=306 Hz. La duración de cada uno de ellos es de 500 ms y se presentan sin pausa, siguiendo el siguiente esquema: "a₁a₃a₁a₃a₁a₃a₁a₃". Si el niño percibe como dos tonos diferentes, lo interpreta como el ruido de una sirena. Si no es así lo percibe como un zumbido continuo. De modo que se les

daba la siguiente consigna:

“Ahora escucharas la sirena de un coche de policía. Fíjate”

Se les mostraba un sonido que fuera fácilmente identificable: “a₁a₁₀a₁a₁₀a₁a₁₀a₁a₁₀”

“¿Has oído la sirena de la policía?”

Si contestaba negativamente se aumentaba el número de elementos en la serie. Si contestaba afirmativamente se pasaba a la siguiente consigna:

“Ahora te enseñaré un sonido que no es de una sirena de la policía, escucha atentamente”.

Se daba la secuencia “a₁a₁a₁a₁a₁a₁a₁a₁” o tono continuo. La siguiente consigna era:

“Ahora oirás algo. No sabemos si es una sirena de la policía o no. Debes de decirme ‘SÍ’ si es una sirena”

A continuación se iban intercalando secuencias, con diferencias tonales o no, hasta llegar a la mínima diferenciación que podía conseguir el niño. La duración de la prueba no pasaba de 4 o 5 minutos para detectar el umbral diferencial tonal.

Esta prueba incluye dos subtest:

- **Subtest de Detección Tonal a 300 Hz (variable d3)**. En esta prueba se utiliza el tono a₁=300 Hz y el b con incrementos de 3-4 mel, hasta que el sujeto es capaz de determinar que se trata de una sirena (suma de dos tonos). La variable “**d3**” mide los mels que son necesarios para que el sujeto detecte que se tratan de tonos diferentes en 300 Hz, es decir, la diferencia entre estímulos tonales para ser detectados como diferentes. De modo que mide la cantidad de mels que necesita el sujeto para distinguir 300 Hz del siguiente tono más próximo. En este caso 3 mels corresponde a 3 Hz, 7 mels a 6 Hz, 10 mels a 9 Hz y así sucesivamente (ver Figura 9).

- **Subtest de Detección tonal a 3 KHz (variable d3k).** Este test es igual al anterior, pero la frecuencia de partida es $a_1=3$ KHz. La variable “**d3k**” mide los mels que son necesarios para que el sujeto detecte que se tratan de tonos diferentes. De modo que mide la cantidad de mels que hay que añadir a 3000 Hz (1876 mels) para que sea distinguido de otro tono próximo. En este caso 4 mels corresponden a 11 Hz, 7 mels a 22 Hz, 10 mels a 33 Hz y así sucesivamente (puede verse gráficamente en la Figura 8).

La variable “**umbral diferencial tonal en 300 Hz y 3000 Hz**” (**D**) corresponde a la suma de sus niveles: d3 y d3k. Suma los mels de diferencia que necesita el sujeto en ambas frecuencias para determinar que se tratan de tonos diferentes.

La emisión de los tonos se realizó en campo libre en una habitación con bajo nivel de ruido y era captada por ambos oídos a la vez. Al tratarse de pruebas supraliminares, la intensidad que se aplicó en las pruebas era la que el sujeto consideraba cómoda.

La síntesis de las señales se realizó con el software de distribución libre “*Speech Filing System*” del departamento de Ciencia Fonética (*Division of Psychology and Language Sciences*) del *University College of London* y fue utilizada en un equipo informático con sistema operativo Windows XP ® y con altavoces de la marca Logitech ®, modelo: Speaker System Z 313 con una respuesta de frecuencia de 48 Hz a 20 KHz (+/- 3dB).

Prueba de Comparación de Parejas de Tonos (C)

Esta prueba mide los mels de diferencia que necesita el niño para comparar satisfactoriamente dos parejas de tonos, una con los dos tonos iguales y la otra con un tono igual a los de la pareja anterior y otro diferente. De modo que el esquema queda así:



Entre la emisión de la primera pareja y la segunda se realiza una pausa ≈ 3 s.

En esta prueba no sólo entra en juego la capacidad de detección, sino la capacidad de mantener en memoria la primera pareja de tonos y realizar una comparación acústica en-

tre ellas. Esta tarea requiere manejar funciones más complejas que el test D. Así comparando las ejecuciones de ambas tareas se podrá determinar la importancia de la detección (D) o si entran en juego más habilidades.

Ante una señal (elevación del brazo del examinador) se emiten dos tonos puros de una duración de 500 ms cada uno, estos serán concatenados de forma que será un zumbido continuo de 1 s. de duración. Ambos zumbidos serán de la misma frecuencia medida en cps. Es decir, a_1 : tono de 0,5 s a 300 cps; la secuencia será $A_1 = a_1 + a_1$

Se realizará una pausa de aproximadamente unos 3 s que, por limitaciones en la investigación, no resultan idénticas.

A la bajada del brazo del examinador se emitirá otro par de sonidos con la misma duración que la anterior, pero uno de ellos podrá ser igual o diferente. La diferencia consistirá en el segundo zumbido (a_2) que podrá diferenciarse del primero en x mels. Es decir, la secuencia $A_2 = a_1 + a_2$, donde el valor de a_2 distará en algún mel del sonido a_1 .

El procedimiento será:

- 1º. Emisión de A_1
- 2º. Pausa de ≈ 3 s
- 3º. Emisión de A_2 .
- 4º. Preguntar al sujeto si ambas emisiones son iguales.
- 5º. Si el sujeto no detecta diferencia se incrementa a_2 en 3-4 mels y se comienza el procedimiento.

Cuando la detección parece que es debida al azar se intercala una serie extra donde las dos emisiones son A_1 , si el sujeto responde que son diferentes se continua incrementando los mels correspondientes en a_2 . La duración de la prueba no supera los 4-5 min

- **Subtest de Comparación de Parejas de Tonos a 300 Hz (variable c3)**. Es el resultado expresado en mels de las diferencias tonales que necesita un sujeto para diferenciar dos parejas de tonos como diferentes en esta banda.

$$A_1 = a_1 + a_1; \text{ donde } a_1 = 300 \text{ cps,}$$

$$A_2 = a_1 + a_2; \text{ donde } a_2 = 300 \text{ cps} + 3 \text{ mel}$$

La suma de las unidades perceptivas utilizadas (mel) está representada por la variable: “**c3**”.

- **Subtest de Comparación de Parejas de Tonos a 3 KHz (variable c3k)**. Esta variable es igual a la anterior, pero observa la diferencia tonal en la banda de 3KHz

$$A_1 = a_1 + a_1; \text{ donde } a_1 = 3 \text{ KHz}$$

$A_2 = a_1 + a_2; \text{ donde } a_2 = 3000 \text{ cps} + 4 \text{ mels}$ (véase la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

La suma de las unidades perceptivas utilizadas (mel) está representada por la variable: “**c3k**”.

La suma de las unidades perceptivas de ambos subtest c3 y c3k se encuentran reflejadas en la variable: “**C**” (“umbral diferencial tonal en la comparación de parejas de tonos”). Da como resultado los mels que necesita el sujeto para hallar la diferencia entre dos parejas de tonos.

La variable “**DC**” resulta de la suma de todas las tareas D y las tareas C en ambas frecuencias. Tiene dos subniveles: “**dc3**”, que resulta de la suma de los umbrales de los resultados en mels en 300 hercios: d3 y c3); y “**dc3k**”, resulta de la suma de los umbrales de los resultados en 3 KHz: d3k y c3k).

5.6. Procedimiento

Las pruebas fueron realizadas en el gabinete de Audición y Lenguaje del colegio; se trata de un despacho sonoamortiguado donde el ruido es mínimo y no podía afectar a los resultados de las pruebas. El logopeda que conocía a todos los niños y tenía formación específica en técnicas audiométricas clínicas administró las pruebas.

En primer lugar se pasó la prueba de **discriminación de logotomas**, la duración de la administración no superó en ningún caso los 5 minutos.

En segundo lugar se administró la prueba **D** para la detección de diferencia tonal. La duración de la administración no superó en ningún caso los 10 min.

Por último se administró la prueba **C** para la comparación de parejas de tonos. La duración de la administración no superó en ningún caso los 10 min.

5.6 *Análisis de datos*

El primer lugar se exponen los estadísticos descriptivos. Posteriormente los resultados del análisis correlacional de Spearman, ya que existían variables categóricas o bien las variables numéricas no seguían una distribución típica.

Para realizar el análisis estadístico y la realización de los gráficos se ha utilizado el programa informático de IBM © SPSS Statistics © versión 21.0.

6. RESULTADOS

6.2 Análisis descriptivos e inferenciales

En primer lugar se presenta una descripción de los resultados obtenidos en las variables categóricas utilizadas (ver Tabla 1) en la muestra de 38 niños de Educación Infantil y Primaria evaluados.

La variable dislalias (DSL) expresa si el sujeto posee un trastorno fonológico (T.F.) o no (No T.F.). En la muestra existían 24 escolares que no presentaban dislalias y 14 que si las presentaban. La variable **LEC** informa si el sujeto sabe leer o no. Los niños que no leían eran 11 frente a 27 lectores.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de variables categóricas dicotómicas.

Variable DSL		Frecuencia	Porcentaje (%)	% válido	% acumulado
Válidos	No T.F.	24	63,2	63,2	63,2
	T.F.	14	36,8	36,8	100,0
	Total	38	100,0	100,0	
Variable LEC					
Válidos	No lee	11	28,9	28,9	28,9
	Lee	27	71,1	71,1	100,0
	Total	38	100,0	100,0	

Por lo que se cuenta con una muestra en la que hay un alto porcentaje de alumnos que no presentan problemas de articulación y saben leer correctamente.

Seguidamente se examinó si los tipos de distribución de las variables cuantitativas uti-

lizadas seguían una distribución normal o no. Estos resultados pueden verse en la Tabla 2. Se muestran las significancias asintóticas. Para las variables categóricas se ha usado la prueba binomial y para el resto la Prueba Kolmogorov-Smirnov (señalada como K-S en la tabla).

Tabla 2. Resumen de pruebas de hipótesis para el tipo de distribución de N

Hipótesis Nula (H_0)	Test	Sig.	Decisión
Las categorías definidas por DSL = "Si" y "No" se producen con las probabilidades de 0,5 y 0,5.	Prueba binomial	,144	Se retiene H_0
Las categorías definidas por LEC = "Si" y "No" se producen con las probabilidades de 0,5 y 0,5.	Prueba binomial	,015	Se rechaza H_0
La distribución de LGT es normal con $x = 1,52$ y $DT = 1,70$.	K-S	,016	Se rechaza H_0
La distribución de D es normal con $x = 14,60$ y $DT = 3,89$.	K-S	,020	Se rechaza H_0
La distribución de d3 es normal, con $x = 6,21$ y $DT = 2,06$.	K-S	,000	Se rechaza H_0
La distribución de d3k es normal con $x = 8,42$ y $DT = 3,33$.	K-S	,000	Se rechaza H_0
La distribución de C es normal con $x = 27,71$ y $DT = 15,57$.	K-S	,118	Se retiene H_0
La distribución de c3 es normal con $x = 11$ y $DT = 7,71$.	K-S	,001	Se rechaza H_0
La distribución de c3k es normal con $x = 16,81$ y $DT = 10,08$.	K-S	,133	Se retiene H_0
La distribución de DC es normal con $x = 42,42$ y $DT = 17,68$.	K-S	,156	Se retiene H_0
La distribución de dc3 es normal con $x = 16,947$ y $DT = 8,49$.	K-S	,011	Se rechaza H_0
La distribución de dc3k es normal con $x = 25,421$ y $DT = 17,68$.	K-S	,203	Se retiene H_0

Tal como puede observarse en esta Tabla 2, en las variables numéricas de la muestra se observa que sólo C, c3k, DC y dc3k (coloreadas en gris) siguen una distribución normal, en estas variables se ha especificado la desviación típica (σ) como puede observarse en la Tabla 3.

Para la descripción del resto de las variables se ha optado por presentarlas en la Tabla 3 y añadir en todas ellas las medianas (Me), las medias y los percentiles 25, 50 y 75. Solamente se han incluido las medias y las desviaciones típicas en las variables con distribución normal, que, además, han sido marcadas con un asterisco.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de las variables numéricas

Variables	LGT	D	d3	d3k	C*	c3	c3k*	DC*	dc3	dc3k*
N Válido	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
Media (x)					27,6		16,7	42,3		25,3
Mediana (Me)	1	14	7	7	21	10	14	36	15	21
Desviación (σ)					15,6		10,1	17,7		11,7
Mínimo	0	10	3	4	10	3	4	21	7	8
Máximo	6	24	10	17	89	40	50	103	47	57
Percentiles										
25	0	11	3,8	7	17	7	10	31	13	17
50	1	14	7	7	21	10	14	36	15	21
75	3	17	7	10	34	10,8	24	48,8	17,8	31

Como puede apreciarse en la Tabla 3 el umbral de detección de tonos ha variado de 10 a 24 mels y la comparación de tonos ha llegado a precisar incrementos máximos casi 4 veces (3.7) superiores a la detección (D). Es decir, la detección del tono relativo o comparación de pares de tonos (C) parece haber sido una tarea más compleja que la detección de las variaciones tonales, por lo que ha requerido por parte de los sujetos unos estímulos tonales más diferenciados en mels.

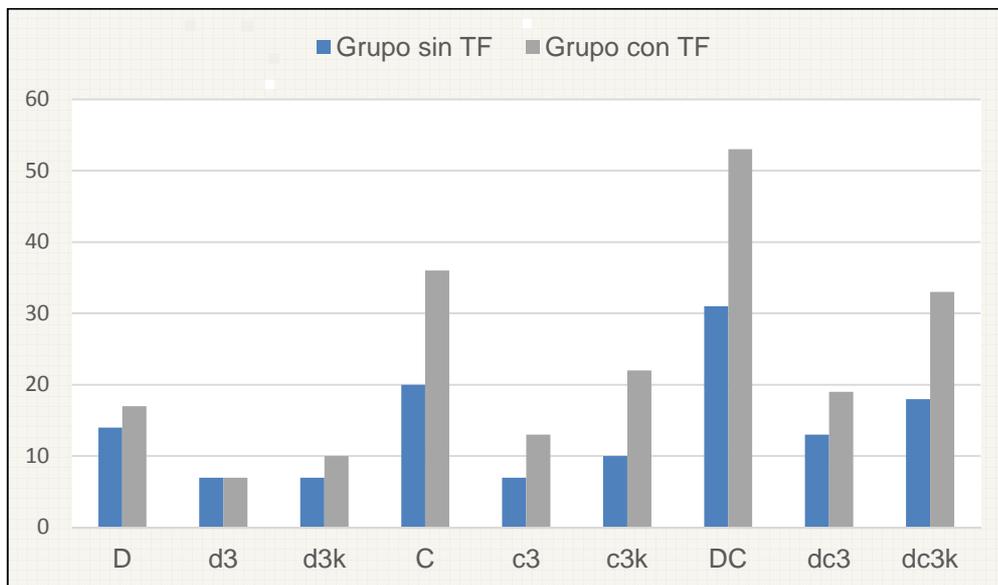
En la Tabla 4 se han reflejado los estadísticos descriptivos de las variables numéricas con relación a la categoría representada por la variable Dislalias (DSL). De este modo, así como en la Gráfica 1, pueden compararse las diferencias que existen en la muestra de-

pendiendo de la presentación de Trastornos Fonológicos o de su ausencia.

Tabla 4. Estadísticos de detección y comparación por presencia de trastorno

Variable		X	(σ)	Me	Percentil 25	Percentil 75	Percentil 95	
DSL	Sin T.F.	D	12.7	(2)	14	10	14	14
		d3	5.8	(2)	7	3	7	7
		d3k	6.9	(2)	7	7	7	7
		C*	20.3	(7)	20	17	21	34
		c3	8.1	(2)	7	7	10	10
		c3k*	12.3	(7)	10	7	14	24
		DC*	33.0	(7)	31	28	36	47
		dc3	13.6	(3)	13	10	17	20
	dc3k*	19.5	(7)	18	14	21	31	
	Con T.F.	D	17.9	(4)	17	17	20	24
		d3	6.9	(2)	7	7	7	10
		d3k	11.0	(4)	10	10	14	17
		C*	40.5	(18)	36	30	44	89
		c3	16.0	(11)	13	10	17	40
		c3k*	24.5	(11)	22	17	30	50
		DC*	58.5	(19)	53	48	67	103
dc3		22.7	(11)	19	17	23	47	
dc3k*	35.6	(11)	33	28	47	57		

En esta Tabla 4 se muestran en letra negra los descriptivos estadísticos que han de ser tenidos en cuenta en cada variable. Las variables que siguen una distribución normal han sido marcadas con asterisco. Se ha de destacar que en los niños que padecen trastornos fonológicos, en los variables de comparación de tonos (C) y la variable obtenida de la suma de umbrales de detección y comparación (DC), las medias de mels son aproximadamente del doble para realizar las mismas tareas que los niños sin dislalias, y también lo son las desviaciones típicas.



Gráfica 1. Puntuación media obtenida en cada una de las variables medidas

En la Gráfica 1 se muestran la representación de las medianas, medidas en mels, de todas las variables numéricas utilizadas y categorizadas por la variable Dislalias. A simple vista puede apreciarse la diferencia entre los sujetos que presentan Trastorno Fonológico (T.F.) y los que no lo presentan. Además, la diferencia es más patente con relación a las variables medidas en la banda de 3 KHz.

Aunque no se exponen en las tablas de los resultados, para incrementar la validez interna también se investigaron las relaciones entre otras variables como la edad, el sexo y el curso escolar. Ninguna de estas variables resaltó diferencias entre los niños con trastorno fonológico y los que poseían una dicción correcta; esto indica una homogeneidad del grupo en los aspectos relativos a las variables mencionadas.

6.3 *Análisis correlacional*

En este apartado se presentan las correlaciones bivariadas realizadas con Spearman. Las variables que se han tenido en cuenta han sido: Umbral diferencial (D), Comparación tonal (C), DC, Presencia de Trastorno fonológico (DSL), Número de errores de discriminación en Logotomas (LGT) y Alfabetización (LEC).

En la Tabla 5 se puede apreciar la valoración de las correlaciones que han sido obtenidas, se ha gradado el color azul desde el más intenso, que representa la mejor correlación, al más suave, que muestra la menor relación con significatividad. En la casilla marcada como “C. de C.” se refleja numéricamente la Rho de Spearman (se ha marcado con un asterisco cuando $p < .01$, y con dos asteriscos cuando $p < .05$) y a su derecha, p específica el grado de significatividad.

Tabla 5. Correlaciones bivariadas

Variables		Dislalias (DSL)		Logotomas (LGT)		Lectura (LEC)	
		Rho de Spearman C. de C.	p	Rho de Spearman C. de C.	p	Rho de Spearman C. de C.	p
Umbral Diferencial	D	.677*	.000	.523*	.001	-.470*	.003
300Hz	d3	.273	.097	.094	.573	-.136	.416
3KHz	d3k	.645*	.000	.611*	.000	-.432*	.007
Umbral Comparación	C	.668*	.000	.600*	.000	-.391**	.015
300 Hz	c3	.547*	.000	.509*	.001	-.396**	.014
3 KHz	c3k	.616*	.000	.579*	.000	-.342**	.036
D+C	DC	.742*	.000	.655*	.000	-.481*	.002
300Hz	dc3	.560*	.000	.452*	.004	-.416*	.009
3KHz	dc3k	.692*	.000	.643*	.000	-.411**	.010
Dislalias	DSL			.650*	.000	-.715*	.000
Logotomas	LGT					-.480*	.002

* $p < .01$, ** $p < .05$

El incremento de unidades tonales para la detección (variable D) ha correlacionado positivamente con los sujetos con dislalias y con los fallos cometidos en la discriminación

de los logotomas, pero si se analizan las 2 bandas por separado, la única correlación significativa corresponde a la detección en la banda más alta (3 KHz) tanto para las dislalias como para la discriminación de logotomas. Es decir, el déficit para distinguir tonos senoidales en la frecuencia más alta se relaciona con la aparición de dislalias y con menor discriminación silábica.

En la tarea de comparación de parejas de tonos (variable C), que requiere por parte del sujeto mayor atención y la utilización de la memoria de trabajo auditiva, se observa la existencia de una correlación positiva con las dislalias y, también, con los errores cometidos en la discriminación de logotomas; la comparación en tonos altos es la que obtiene la Rho de Spearman más alta.

La variable DC es la que obtiene un mayor coeficiente de correlación con las dislalias (variables DSL) y con los errores cometidos en la discriminación de sílabas directas (variable LGT). No obstante, es en 3 KHz (variable dc3k) donde más se evidencia su relación con ambas.

La adquisición de la lectura (variable **LEC**) ha correlacionado negativamente con todas las demás variables, algo que era de esperar. Es decir, si el niño tiene un habla defectuosa (variable **DSL**) o discrimina mal las sílabas (variable **LGT**), la adquisición de la lectura es más difícil.

La correlación negativa de la Lectura ha sido escasa con el umbral de comparación de tonos (variable C); moderada con el umbral de detección tonal (variable D), con los déficits en discriminación de logotomas; y ha obtenido una buena correlación con los Trastornos fonológicos (variable DSL).

Para minimizar en la muestra los efectos de la edad y del curso escolar en la adquisición de la lectura se realizó un análisis de correlación parcial, que no se incluye en las tablas. El coeficiente de correlación de la lectura con las dislalias controlando para la edad (correlación parcial) arrojó un $r = -.658$ con una significatividad $p < 0,0001$ y controlando para el curso de pertenencia un $r = -.691$ con una significatividad de $p < 0,0001$.

7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La investigación realizada se planteó con el objetivo de examinar la relación entre la detección de diferentes tipos de tonos y la detección de la palabra hablada en un grupo de niños de Educación Infantil y Primaria.

Para ello se formuló una hipótesis que incluía tres **proposiciones afirmativas**, a saber:

- a) *La comparación de diferencias mínimas de altura en la banda de 300 Hz se relaciona con ... (I, II, III)*
- b) *La detección de pequeñas diferencias tonales en frecuencias en la banda de 3000 Hz se vincula con ... (I, II, III)*
- c) *La comparación de ligeras diferencias de tono en la banda de 3000 Hz se asocia con ... (I, II, III)*

Estas tres proposiciones se debían relacionar con las siguientes variables:

- I. ... discriminación silábica (variable LGT)
- II. ... trastornos fonológicos (variable DSL)
- III. ... el acceso a la lectura con métodos fonológicos de enseñanza (variable LEC)

También se incluía una **cláusula negativa**, exactamente igual que **b)**, pero con relación a la banda de 300 Hz; es decir:

- d) En la banda de 300 Hz la detección no correlacionará con I, II ni con III.

Para ello se plantearon cuatro objetivos específicos de detección y comparación de los tonos senoidales en ambas bandas de 300 Hz y 3 KHz.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la hipótesis puede ser aceptada, ya que se han obtenido las relaciones esperadas. En lo que sigue se hará una discusión de los resultados obtenidos.

Resultados con relación a la discriminación silábica

Estos resultados nos indican que la discriminación silábica se encuentra altamente relacionada con la detección adecuada de diferenciales tonales en 3 KHz y con la comparación de tonos en ambas bandas; de modo que la suma de estas aptitudes del sujeto son las más altas obtenidas en el análisis correlacional. Ello confirma los resultados, también en castellano, de la importancia de la detección y discriminación de la altura que se necesita en idiomas tonales (Chien et al., 2006; Wang, 2011).

Por otra parte, apunta que el análisis espectral y la computación que realiza la corteza auditiva del hemisferio derecho, en las edades de la muestra, resulta muy importante para completar el análisis que lleva a cabo el hemisferio izquierdo, dirigido a reconocer las diferencias mínimas que poseen determinados fonemas próximos acústicamente, y no sólo para determinar los elementos suprasegmentales del discurso. Algo que no contradice al modelo de flujo dual de procesamiento del habla (Hickok et al., 2007).

De acuerdo con la muestra, la discriminación silábica se relaciona de forma positiva con el acceso a la lectura (utilizado metodología de tipo ascendente o fonética); de modo que, los peores resultados en la discriminación silábica arrojan dificultades de acceso a la alfabetización; algo que había sido reflejado en estudios anteriores, incluidos los relacionados con la conciencia fonológica (Brancalioni et al. 2012; Heeren et al. 2012; Herrera y Defior, 2005).

Resultados con relación a los trastornos fonológicos

Los resultados más evidentes de relación entre variables son los que han sido obtenidos entre: el déficit en la detección y comparación de los tonos puros con la aparición de dislalias.

La detección en la banda frecuencial de 300 Hz no parece ser relevante en la apari-

ción de las dislalias; lo que no indica que no sea fundamental en el lenguaje, sino que los trastornos fonológicos tienen más relación con el déficit de detección de frecuencias más altas (de formantes, superiores en hercios a F_0). Además, se ha visto que las dislalias tienen una clara relación con la comparación de las diferentes tonalidades del espectro frecuencial estudiado, independientemente de los cps.

También se ha evidenciado la alta relación que mantienen las dislalias con el acceso a la lectura, ya que los trastornos fonológicos dificultan su inicio.

Resultados con relación a la lectura

Además de lo relación inversa que se ha establecido entre dislalias y lectura, se ha mostrado que la comparación y detección tonal mantienen una concordancia moderada en el acceso a la lectura, al igual que la capacidad de discriminar correctamente las sílabas.

Por lo tanto, a modo de conclusión general puede decirse que se han verificado en la muestra seleccionada las relaciones que quería establecer la hipótesis que dio lugar al presente TFM, esto es, entre la detección en la altura de los tonos, la discriminación silábica, los trastornos fonológicos y la adquisición de la lectura.

7.2 Limitaciones

A pesar de los resultados obtenidos, la investigación llevada a cabo cuenta con una serie de limitaciones que podrían haber influido de cierta manera los datos.

Una de estas limitaciones se produjo a nivel metodológico, ya que por restricciones del software utilizado no se pudieron dar las pausas entre los pares de sonidos con el mismo intervalo exactamente. No obstante, aunque este intervalo temporal hubiera sido una variable a controlar, según el diseño y objetivo de la investigación planteada, no debería ha-

ber generado distorsiones notables.

Una de las mayores limitaciones es el tamaño de la muestra, que hace difícil generalizar las conclusiones a toda la población en esta edad.

7.3 ***Prospectiva***

La determinación del grado de discriminación tonal en mels es una prueba fácil de realizar y no requiere ningún tipo de instrumental especial, únicamente una grabación adecuada en un ordenador personal muy sencillo.

La información que aporta el umbral diferencial tonal es numérica y sirve para calcular el grado de deformación con la que el sujeto percibe los formantes, pudiendo deducirse la cantidad de fonemas y nivel de afectación para cualquier idioma. Así, se podría calcular la dificultad de discriminación auditiva que se le presentaría a un niño para aprender un idioma extranjero sin necesidad de experimentar y pudiendo corregir de antemano los problemas.

Por otra parte, al tratarse de información numérica es sencillo entender el grado de discriminación auditiva de estudios realizados en diferentes idiomas y poderlos comparar, ya que la información puede valorarse del mismo modo que la audiometría tonal clínica.

Este estudio puede servir de piloto para trabajos que investiguen si el entrenamiento de la discriminación y comparación tonal en la banda de 3000 Hz puede ser un tratamiento eficaz en la corrección de las dislalias o evitar su aparición.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegría, J., Morais, J. (1979). Le développement de l'habilité d'analyse phonétique consciente de la parole et l'apprentissage de la lecture. *Archives Psychology*, 19, 251-270.
- Arias-Londoño, J. D., Godino-Llorente, J. I., Markaki, M. y Stylianou, Y. (2011). On combining information from modulation spectra and mel-frequency cepstral coefficients for automatic detection of pathological voices. *Logopedics, phoniatrics, vocology*, 36 (2), 60–9.
- ASHA. (1994). Central auditory processing: current status of research and implications for clinical practice. Technical Report. *The Consensus Development Conference*. Albuquerque.
- ASHA. (2011). Q y A Session from the 2011 Coding Update for Speech-Language Pathologists. Recuperado en 2 de diciembre de 2013, de: <http://www.asha.org/uploadedFiles/QA%20for%202011%20Coding%20Updates-SLP.pdf>
- Bishop, D. V. M. (2007). Using mismatch negativity to study central auditory processing in developmental language and literacy impairments: where are we, and where should we be going? *Psychological bulletin*, 133(4), 651–72.
- Boets, B., de Beeck, H. P., Vandermosten M., Scott, S. K., Gillebert, C. R., Mantini, D., Bulthé, J., Sunaert, S., Wouters, J., Ghesquière, P. (2013). Intact but less accessible phonetic representations in adults with dyslexia. *Science*, 342 (6163), 1251-1254.
- Borzone, A. M. (1980). *Manual de fonética acústica*. Buenos Aires: Hachette.
- Bosch, L. (2003). *Evaluación fonológica del habla infantil*. Barcelona: Masson
- Brancal, M., Ferrer, A., Alcantud, F. y Quiroga, M. (2009). *Evaluación de la discriminación*

auditiva y fonológica (EDAF). Barcelona. Lebón.

- Brancalioni, A. R., Bertagnolli, A. P., Bonini, J. B., Gubiani, M. B., y Keske-Soares, M. (2012). The relation between auditory discrimination and phonological disorder. *Jornal da sociedade brasileira de fonoaudiologia*, 24 (2), 157-161.
- Bravo, L., Villalón, M. y Orellana, E. (2006). Diferencias en la predictividad de la lectura entre primer año y cuarto año básicos. *Psyche*, 15 (1), 3 -11.
- Cheour, M., Korpilahti, P., Martynova, O. y Lang, A.H. (2001). Mismatch negativity and late discriminative negativity in investigating speech perception and learning in children and infants: a review. *Audiology and Neurotology*, 6, 2–11.
- Chien, C.-H., Tu, T.-Y., Chien, S.-F., Li, A. C.-I., Yang, M.-J., Shiao, A.-S., y Wang, Y.-F. (2006). Relationship between Mandarin speech reception thresholds and pure-tone thresholds in the geriatric population. *Journal of the Formosan Medical Association Taiwan yizhi*, 105 (10), 832–8.
- Cox, R. V., Neto, S. F. de C., Lamblin, C., Sherif M.H. (2009). ITU-T Coders for Wideband, Superwideband and Fullband Speech Communication. *IEEE Communications Magazine*, 47(10), 106-109. Recuperado en 01 de diciembre de 2013, de: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=05273816>
- Defior, S. y Serrano, S. (2011). La conciencia fonémica, aliada de la adquisición lenguaje escrito. *Revista de Logopedia, Foniatría y Audiología*, 31 (1), 2-13.
- Denckla, M. B., y Rudel, R. (1974). Rapid "automatized" naming of pictured objects, colors, letters and numbers by normal children. *Cortex*, 10 (2), 186-202.
- Fraile R., Saenz-Lechon N., Godino-Llorente J.I., Osma-Ruiz V. y Fredouille C. (2009). Automatic detection of laryngeal pathologies in records of sustained vowels by means of mel frequency cepstral coefficient parameters and differentiation of patients by sex. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 61 (3) ,146-152.

- Gallego, C. (2006). Los prerrequisitos lectores. Ponencia presentada en el Congreso Internacional de Lectoescritura. Morelia 2006. Morelia-México: Asociación Mundial de Educadores Infantiles.
- García, P. (1988). *La dislalia naturaleza, diagnóstico y rehabilitación*. Madrid: CEPE.
- Giancoli, D. C. y Campos, V. (2007). *Física: principios con aplicaciones*. México: Pearson Educación.
- Gómez, O. (2006). *Audiología básica*. Universidad Nacional de Colombia: Bogotá.
- Guardia, P. (2003). Relaciones entre habilidades de alfabetización emergente y la lectura desde nivel de transición mayor a primero básico. *Psykhe*, 12 (2), 63-79.
- Heeren, W., Coene, M., Vaerenberg, B., Avram, A., Cardinaletti, A., del Bo, L., et al. (2012). Development of the AŞE test battery for assessment of pitch perception in speech. *Cochlear Implants International*, 13 (4), 206-219.
- Herrera, L. y Defior, S. (2005). Una aproximación al procesamiento Fonológico de los niños prelectores: conciencia fonológica, memoria verbal a corto plazo y denominación. *Psykhe*, 2 (14), 81-95.
- Hickok, G. y Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 8, 393-402
- Itahashi, S. y Yokoyama, S. (1978). A formant extraction method utilizing mel scale and equal loudness contour. *STL-QPSR*, 19 (4), 017-029
- Kane, J. W. y Sternheim, M. M. (2007). *Física*. Barcelona: Reverté.
- Lieberman, A. M., Mattingly, I. G. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition*, 21, 1-36.
- Lieberman, I. Y. y Shankweiler, D. (1985). Phonology and the Problems of Learning to Read and Write. *Remedial and Special Education*, 6, 8-17.

- Lovio, R., Näätänen, R., y Kujala, T. (2010). Abnormal pattern of cortical speech feature discrimination in 6-year-old children at risk for dyslexia. *Brain research*, 1335, 53–62.
- Mengler, E. D., Hogben, J. H., Mitchie, P.T. y Bishop, D.V.M. (2005) Poor frequency discrimination is related to oral language disorder in children: a psychoacoustic study. *Dyslexia*, 11, 155–173.
- Morera, C. y Marco, J. (2006). *Lecciones de otorrinolaringología aplicada*. Barcelona: Glosa
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T., y Alho, K. (2007). The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review. *Clinical Neurophysiology*, 118 (12), 2544-2590.
- Nordmark, J. O. (1978). Capítulo 7. Frequency and Periodicity Analysis. En Carterette, E. C., Friedman, M. P. (Academic Press) *Handbook of perception. Volume 4. Hearing*. (243-278).New York: Academic Press.
- O'Shaughnessy, D. (1999). *Speech Communications: Human and Machine*. New Jersey: Wiley-IEEE Press.
- Perelló, J., Ponces, J. y Tresserra-Llauradó, L. (1981). *Trastornos del habla*. Barcelona: Científico-Médica.
- Quilis, A. (1981). *Fonética acústica de la lengua española*. Madrid: Gredos.
- Rinker, T., Kohls G., Richter, C., Maasa, V., Schulz E. y Schecker, M. (2007). Abnormal frequency discrimination in children with SLI as indexed by mismatch negativity (MMN). *Neuroscience Letters*, 413, 99–104.
- Sánchez, R. M. (2003). Capítulo 17, Órgano de la audición. En Rodríguez, S., Smith-Ágreda, J. M. (Médica Panamericana). *Anatomía de los órganos del lenguaje, visión y audición* (197-208). Madrid: Médica Panamericana.

- Sellés, P., Martínez, T. (2008). Evaluación de los predictores y facilitadores de la lectura: análisis y comparación de pruebas en español y en inglés. *Bordón*, 60 (3), 113-129.
- Smith, J.O. y Abel, J.S. (1999). Mel and ERB Bilinear Transforms. *Speech and Audio Processing*, 6 (7), 697-708.
- Stanovich, K. E. (1986). Matthew effects in reading: Some consequences of individual differences in the acquisition of literacy. *Reading Research Quarterly*, 22, 360-406.
- Stanovich, K. E. (2002). *Progress in understanding reading*. New York: The Guildford Press.
- Trujillo, F., González, A., Cobo, P. y Cubillas, E. (2006). *Nociones de fonética y fonología para la práctica educativa*. Granada: Grupo Editorial Universitario.
- Uwer, R., Albrecht, R. y Suchodoletz, W. (2002). Automatic processing of tones and speech stimuli in children with specific language impairment. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 44, 527–532.
- Van Eyken, E., Van Camp, G., y Van Laer, L. (2007). The complexity of age-related hearing impairment: contributing environmental and genetic factors. *Otology and Neurotology*, 12 (6), 345-58.
- Vellutino, F. R. y Scanlon, D. (2002). Emergent literacy skills, early instruction and individual differences as determinants of difficulties in learning to read: The case for early intervention. En Neuman, S., Dickinson, D. (The Guilford Press) *Handbook of early literacy research*. (295-321). London: The Guilford Press.
- Wang, A. (2011). La influencia del chino mandarín en el desarrollo del oído relativo y sus implicaciones para la música. *Estudios Fónicos. Cuadernos de Trabajo*, 1, 78–92. Recuperado en 01 de diciembre de 2013, de: www.estudiosfonicos.cchs.csic.es/fonetica/cuadernos/index.php/estfon/article/view/9/9
- Zatorre, R. J., Belin, P. y Penhune, V. B. (2002). Structure and function of auditory cortex:

music and speech. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(1), 37-45

Zatorre, R.J., Evans A.C., Meyer E. y Gjedde, A. (1992). Lateralization of phonetic and pitch discrimination in speech processing. *Science*, 256(5058), 846-849.