



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA
SECRETARÍA DE SALUD
INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN

ESPECIALIDAD EN:
COMUNICACIÓN, AUDIOLOGÍA Y FONIATRÍA

**“CORRELACIÓN ENTRE LA CONCIENCIA
FONOLÓGICA Y LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA
TEMPORAL DE LA MODULACIÓN EN NIÑOS CON
TRASTORNOS DE LA LECTOESCRITURA Y SANOS”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MÉDICO ESPECIALISTA EN:
COMUNICACIÓN, AUDIOLOGÍA Y FONIATRÍA

P R E S E N T A :
DRA. ALINE BERENICE HERRERA RANGEL

PROFESORA TITULAR:
DRA. XOCHQUETZAL HERNÁNDEZ LÓPEZ

ASESORES:
DRA. YOLANDA REBECA PEÑALOZA LÓPEZ
DR. SANTIAGO JESÚS PÉREZ RUÍZ



MÉXICO D.F.

AGOSTO 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DRA. MATILDE L. ENRIQUEZ SANDOVAL
DIRECTORA DE ENSEÑANZA

DRA. XOCHQUETZAL HERNÁNDEZ LÓPEZ
SUBDIRECTORA DE ENSEÑANZA MÉDICA
Y EDUCACIÓN CONTÍNUA
PROFESORA TITULAR

DR. LUIS GÓMEZ VELÁZQUEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ENSEÑANZA MÉDICA

DRA. YOLANDA REBECA PEÑALOZA LÓPEZ

ASESORA

PROCESOS CENTRALES DE LA AUDICIÓN

INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN

DR. SANTIAGO JESÚS PÉREZ RUÍZ

ASESOR

LABORATORIO DE ACÚSTICA Y VIBRACIONES

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

UNAM

DEDICATORIAS

A Alberto Neri.

A mis padres, mis hermanos y toda mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A todos los niños que participaron en este estudio y sus familias.

A la Dra. Yolanda Rebeca Peñaloza López, tutora de este proyecto de tesis y maestra.

Al Dr. Jesús Santiago Pérez Ruiz, tutor de este proyecto y autor del programa informático de la prueba.

Al Psic. Francisco Vázquez Urbano, quien realizó la evaluación psicológica de los participantes y revisó los aspectos psicológicos del estudio. Asimismo, al Servicio de Psicología, Psiquetría y Terapia Familiar, y al área de Psicología de Comunicación Humana, por su colaboración.

A la Dra. Concepción Villarruel Rivas, por su orientación clínica.

Al LTCH José Miguel Rivero Lira, por su orientación en los aspectos rehabilitatorios.

A las Licenciadas en Terapia de la Comunicación Humana del INR por su colaboración en la selección de pacientes.

Al Profr. Saúl Rufino Gerardo y los profesores de la Escuela Primaria “Gral. Lázaro Cárdenas del Río”, de la Delegación Tlalpan en la Ciudad de México, por las facilidades prestadas para la selección de los integrantes del grupo de control.

A las Dras. Angélica Barón Herrera y Julieta Avilés Muñoz, por su apoyo.

A Alberto Neri, por su constante apoyo en la realización de esta tesis.

A todos mis amigos y compañeros residentes.

A los profesores del curso y médicos adscritos de Comunicación Humana del INR y otras sedes que contribuyeron con su enseñanza, tiempo y apoyo.

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
2.1 La musicalidad en la percepción auditiva	2
2.2 Las habilidades metalingüísticas	4
2.3 La conciencia lingüística y su desarrollo	4
2.4 La conciencia fonológica y la lectoescritura	5
2.5 Las alteraciones de la conciencia fonológica y su influencia en los trastornos de la lectoescritura	6
2.6 Los trastornos de la lectoescritura y los síndromes disléxicos	7
2.7 Definiciones de los trastornos de la lectoescritura	7
2.8 Genética de los trastornos de la lectoescritura	8
2.9 Morfología cerebral en los trastornos de la lectoescritura	9
2.10 Las deficiencias del procesamiento auditivo temporal y los trastornos de la conciencia fonológica	10
2.11 El estudio del procesamiento auditivo temporal	13
2.11.1 Función de transferencia temporal de la modulación	13
2.11.2 Sensibilidad a la modulación sinusoidal de la amplitud	15
2.12 Procesamiento del sistema auditivo humano a las señales moduladas	17
2.13 El desarrollo del análisis acústico temporal en el sistema nervioso	17
2.13.1 Codificación de la amplitud modulada en el sistema auditivo humano	18
2.13.1.1 Nervio auditivo	18
2.13.1.2 Núcleos cocleares	18
2.13.1.3 Complejo olivar superior	19
2.13.1.4 Colículos inferiores	19
2.13.1.5 Cuerpo geniculado medial	19
2.13.1.6 Corteza auditiva primaria	20

3. Planteamiento del problema	21
4. Justificación	22
5. Objetivo general	23
6. Objetivos específicos	24
7. Hipótesis	25
8. Pacientes, materiales y métodos	26
8.1 Tipo de estudio	26
8.2 Criterios de inclusión de los grupos de estudio y de control	26
8.3 Criterios de exclusión	27
8.4 Criterios de eliminación	27
8.5 Pacientes y controles	27
8.6 Materiales	27
8.7 Métodos	28
8.7.1 Selección de los Grupos de Estudio y de Control	29
8.7.2 Evaluación de conciencia fonológica	29
8.7.3 Evaluación psicológica	30
8.7.4 Programación de la prueba FTTM	30
8.7.5 Descripción de la prueba FTTM	30
8.7.6 Método de aplicación de la prueba FTTM	33
8.7.7 Registro de las respuestas y obtención del umbral a la AM	34
8.7.8 Análisis estadístico	35
8.7.9 Consideraciones éticas	35
9. Resultados	36
9.1 Antecedentes familiares de trastornos fonológicos	36
9.2 Evaluación psicológica	36
9.3 Conciencia fonológica y habilidades metalingüísticas	37
9.4 Análisis auditivo temporal	39
9.4.1 Sensibilidad a la modulación sinusoidal de la amplitud	39

9.4.2	Función de transferencia temporal de la modulación	41
10.	Discusión	42
11.	Conclusión	45
12.	Referencias	46
Apéndice 1.	Registro e interrogatorio de antecedentes para los padres de los niños del grupo de estudio	52
Apéndice 2.	Registro e interrogatorio de antecedentes para los padres de los niños del grupo de control	53
Apéndice 3.	Evaluación de la conciencia fonológica y habilidades metalingüísticas	54
Apéndice 4.	Registro de umbrales de sensibilidad a la modulación sinusoidal de la amplitud (ejemplo)	57
Apéndice 5.	Carta de Consentimiento informado	58
Apéndice 6.	Utilidad de las funciones logarítmicas en la descripción de la intensidad sonora y su modulación	59
Apéndice 7.	Código del programa de FTTM en MATLAB	60

INTRODUCCIÓN

El sistema auditivo representa la vía de entrada de la información sonora a la conciencia del ser humano y es, al mismo tiempo, la fuente que aporta las aferencias indispensables para el desarrollo del lenguaje oral. Esta herramienta del hombre, al ser vertida en un sistema de signos gráficos -la escritura- permitió al género humano preservar el conocimiento, constituyéndose en un pilar de la civilización y en el origen de su historia.

A pesar de que el derecho a la educación está plasmado en la Declaración Universal de los Derechos Humanos, en el mundo actual la oportunidad de ser alfabetizado aún no es homogénea. De la población que sí ha recibido esta instrucción, además, se desprende un grupo considerable de personas que muestran desde edades tempranas una discapacidad para leer y escribir que limita en grado variable su acceso a la información lectoescrita y que, por tanto, vuelve estrecho su contacto con este importante mecanismo de herencia de la cultura. Puede afirmarse por tanto que una persona con discapacidad para la comunicación lectoescrita queda a la saga de la participación social, educativa y económica de su entorno, entre otros aspectos fundamentales de la vida.

El origen de este espectro de trastornos de la lectoescritura, al día de hoy, no se encuentra del todo dilucidado y son abundantes las teorías que pretenden explicarlos. La que nos ocupa en este trabajo propone que un componente central de su patogenia reside en una deficiencia del sistema auditivo para analizar e internalizar las características del habla que torna al individuo incapaz de estructurar un sistema de identidad entre la información verbal y el signo escrito.

En este estudio, a través de la Función de Transferencia Temporal de la Modulación, abordamos el análisis de los aspectos temporales del sonido como uno de los procesos auditivos centrales involucrados, en correlación con las habilidades fonológicas de pacientes con trastornos de la lectoescritura e individuos sanos, con el propósito de aportar un elemento más que contribuya a la rehabilitación de los trastornos de la lectoescritura como una anomalía del desarrollo del niño.

ANTECEDENTES

2.1 La musicalidad en la percepción auditiva

El sistema auditivo humano posee la facultad de percibir y analizar las señales acústicas del entorno en sus diferentes dimensiones. Entre las características esenciales de dichas señales se cuentan el tono, la intensidad, la duración, la periodicidad y la modulación. Elementos como el ritmo, el enriquecimiento con armónicos y otros rasgos secundarios dependen de la combinación de los factores primarios y en suma componen lo que puede considerarse la musicalidad del sonido (Trehub, 2003).

Peretz y Coltheart proponen que el tratamiento que el sistema nervioso central da a la información musical comparte elementos modulares con el procesamiento de la información verbal (Peretz, 2003), particularmente en el módulo de análisis temporal (ritmo y métrica) y espectral (tonal) del sonido.

Griffiths cita a Monrad-Krohn (Griffiths, 1995) para referirse a los equivalentes musicales de tono, ritmo e intensidad con la prosodia del lenguaje hablado, un arreglo al que llaman “melodía del lenguaje”. El mismo autor, en virtud de que las tres formas de agnosia auditiva (para palabras, para música y para sonidos ambientales) suelen traslaparse entre sí, les clasifica en su conjunto como un “trastorno aperceptivo” caracterizado por la incapacidad para percibir patrones acústicos complejos (Griffiths, 2002).

Desde hace dos siglos se dispone de descripciones clínicas de alteraciones de la percepción de los rasgos musicales del sonido por daño cerebral de etiología variada. Posteriormente, en 1962, Milner y colaboradores publicaron un reporte devenido en clásico por ser el primer estudio formal de las deficiencias de discriminación del timbre, la duración y las secuencias tonales complejas secundarias a la lobectomía temporal derecha en un número amplio de pacientes, en quienes sin embargo se encontraba preservada la percepción de los patrones rítmicos (Zatorre, 1998).

El contraste con el que tradicionalmente fueron apreciadas estas expresiones clínicas y la deficiencia verbal secundaria a las lesiones temporales izquierdas constituyó en el siglo pasado una dicotomía válida, sin embargo, la observación científica de los últimos veinte años ha revelado que esta generalización ya no es útil en la práctica clínica. La aproximación contemporánea al problema pretende definir los procesos involucrados en una tarea cognitiva determinada para después identificar el sustrato neural que puede corresponder a dichos procesos, independientemente del hemisferio involucrado (Zatorre, 2001).

En 1998, un estudio realizado por Liégeois-Chauvel y colaboradores evidenció cómo distintos procesos de análisis de las características musicales del sonido dependen diferencialmente de sitios corticales lateralizados a uno y otro hemisferio cerebral. Entre sus hallazgos relevantes, se halla la confirmación de que el giro temporal superior (GTS) derecho es esencial para procesar los patrones tonales complejos; sin embargo, cuando se introduce un cambio tonal simple a una secuencia melódica de tal modo que se preserva su escala y su contorno, los pacientes con resecciones del lóbulo temporal izquierdo (incluyendo o no el GTS) muestran un desempeño igual de pobre que los lobectomizados del hemisferio derecho (Liégeois-Chauvel, 1998). En este mismo estudio se reporta que la capacidad de reproducir patrones temporales simples fue más afectada por el daño al GTS derecho en su región posterior, (hacia la porción lateral del giro de Heschl) mientras que el reconocimiento de la métrica probó depender en buena medida de su contraparte izquierda. Estos datos subrayan la naturaleza compleja e interactiva del procesamiento auditivo incluso en tareas sencillas de discriminación (Zatorre, 2001).

La decodificación de la información verbal constituye, por tanto, una de las funciones evolutivamente más complejas del sistema auditivo, toda vez que el producto del habla fluente es un arreglo sumamente elaborado de todas las características citadas, inmersas además en un código de símbolos y significados. De la integridad de esta función depende el desarrollo del lenguaje y las capacidades que posteriormente darán acceso al código lectoescrito.

2.2 Las habilidades metalingüísticas

La metalingüística es la rama de la lingüística que estudia la facultad del lenguaje para describirse así mismo. Las funciones metalingüísticas de la cognición determinan la capacidad que tiene el individuo de tratar al lenguaje como referente explícito y contemplarle como objeto de estudio de la misma forma en que se observaría otro fenómeno natural (Jakobson, 1988).

2.3 La conciencia lingüística y su desarrollo

La conciencia lingüística, una de las capacidades metalingüísticas, es la habilidad para tratar el lenguaje objetivamente, para reflexionar sobre él y manipular sus estructuras fuera de su función comunicativa (Defior, 1998).

La conciencia fonológica es el conocimiento que tiene cada persona de los sonidos de su propia lengua. Implica además, en un sentido más amplio, la habilidad para segmentar, unir y ser consciente de las unidades más básicas que constituyen el lenguaje, los fonemas.

La evolución gradual de la conciencia fonológica supone un lento desplazamiento del foco de atención que el niño en un inicio sitúa en los significados del lenguaje, hacia la conciencia de sus estructuras, esto es, una migración del fondo a la forma del idioma. Una vez que el niño ha alcanzado un dominio del lenguaje que le permite satisfacer sus necesidades primarias de comunicación, avanza paulatinamente hacia una reflexión sobre los elementos que componen cada una de las frases que emite, a las cuales incorpora cada vez con mayor eficacia las correcciones sintácticas o gramaticales que se dan por observación propia o por indicación del adulto (Defior, 1998).

El despertar de la conciencia lingüística parece relacionarse con una identificación de los objetos con la palabra que los representa. Los trabajos pioneros en el estudio poblacional de la metalingüística, concluyeron que los niños preescolares relacionan la longitud de una palabra con las características físicas del objeto o acción, por ejemplo, si se les pide decir una palabra corta suelen responder con el

nombre de un objeto o animal pequeño (eg. “hormiga”), esto es, se valen de un criterio semántico para dar una respuesta (Berthoud-Papandropolou, 1974). Rozin, Bressman y Taft emplearon una prueba a la que llamaron “*Mow-motorcycle*” que consistía en mostrar dos tarjetas: una con la palabra corta “*mow*” (cortar) y otra con la palabra larga “*motorcycle*” (motocicleta), mientras pronunciaban una de las dos palabras; la tarea del niño consistía en seleccionar la tarjeta cuya palabra había sido pronunciada (Rozin, 1974). El objetivo era determinar si la duración sonora de una palabra daba al niño preescolar una pista para identificarla; la hipótesis se cimentaba en la noción de que la conciencia de duración acústica se adquiere tempranamente en el proceso de conocimiento formal de la lengua. Los resultados mostraron que este elemento no tuvo influencia en las respuestas de los preescolares, los cuales elegían la tarjeta al azar. En niños de 6 años que aún no sabían leer, sin embargo, la longitud visual de la palabra fue útil para identificarla y la frecuencia de respuestas correctas subió dramáticamente. En una segunda fase del estudio, intentaron instruir a los niños más pequeños en la realización de la tarea pero tampoco fue posible.

2.4 La conciencia fonológica y la lectoescritura

En sus primeros acercamientos al código lectoescrito, mismos que casi siempre ocurren en el contexto del juego, el niño relaciona las letras con las características del referente; posteriormente, las identifica por medio de los atributos físicos de su grafía. En una siguiente fase, realiza la asociación entre las letras y los sonidos en bloque, pensando que una letra corresponde a una emisión silábica (e.g. “moneda” tiene tres “letras”).

Antes de su exposición plena a la lectoescritura, el niño comprende una frase al escucharla sin reflexionar sobre el proceso de emisión y recepción del mensaje verbal, es decir, trata al lenguaje como una herramienta de comunicación y no como un objeto del pensamiento. Es justamente la capacidad de sustraer el lenguaje de su función comunicativa y observar conscientemente sus características formales lo que define a las habilidades metalingüísticas, mismas

que, en el contexto del desarrollo, determinan la adquisición exitosa de la lectoescritura.

La conciencia fonológica constituye una condición indispensable para el aprendizaje del código lectoescrito, toda vez que sin un previo reconocimiento de las unidades formadoras de la lengua es imposible establecer en el lenguaje interno una relación de correspondencia entre las mismas y su simbolización gráfica.

Aprender a leer en un sistema alfabético como el de nuestro idioma, depende de la evolución del conocimiento metalingüístico de los niños. La toma de conciencia de la estructura fonológica del lenguaje y del hecho de que nuestro sistema de representación escrita de la lengua se basa precisamente en la división de las palabras en sus segmentos fonológicos, resulta indispensable para el dominio de la habilidad lectora. El niño que aprende a leer debe tener noción de dos hechos: que los símbolos escritos representan unidades del lenguaje y que las unidades del lenguaje que se representan son los fonemas sistemáticos. En la práctica se observa que el primer aspecto es relativamente fácil de comprender y prácticamente todos los niños de seis años en proceso de instrucción lo asumen, incluso cuando algunos niños aprenden las palabras como ideogramas (Virginia Department of Education, 1997). Sin embargo, llegar a comprender la naturaleza fonológica del lenguaje escrito presupone no sólo un nivel de abstracción que corresponde a las operaciones formales, sino una capacidad de análisis del componente acústico verbal que supere la coarticulación de los fonemas en el habla cotidiana, de tal forma que el niño pueda discernir las unidades más básicas del idioma, los fonemas.

2.5 Las alteraciones de la conciencia fonológica y su influencia sobre los trastornos de la lectoescritura

Es a este nivel que las alteraciones en el logro de las habilidades metalingüísticas se manifiestan directamente como trastornos en la adquisición de la lectoescritura. Existen estudios longitudinales que reportan una desventaja significativa en cuanto

a capacidad lectora y de expresión escrita a lo largo de la educación primaria de los niños que en la etapa preescolar tenían pobres habilidades metalingüísticas con respecto a sus coetáneos normales (Torgesen, 1994). Se considera, por tanto, que el grado de conciencia lingüística alcanzado al inicio de la edad escolar es un factor pronóstico válido de la capacidad lectora posterior (Schuele, 2008; Boets, 2007).

2.6 Los trastornos de la lectoescritura y los síndromes disléxicos

Si bien la nomenclatura de los trastornos de la lectoescritura es aún heterogénea y no hay un consenso con respecto a su abordaje teórico, se observa en la revisión de la literatura que los grupos de trabajo a nivel internacional los han estudiado con mayor frecuencia bajo el enfoque conceptual de la dislexia. Este término, que puede resultar demasiado general ante la diversidad de la expresión clínica de los trastornos de la lectoescritura, ha sido detallado y especificado por autores como Isabelle Rapin, quien ha descrito síndromes disléxicos específicos en los que el trasfondo fonológico se expresa con distinta intensidad a la par de los elementos visomotores, somestésicos y de análisis semántico (Rapin, 1987).

2.7 Definiciones de los trastornos de la lectoescritura

Los síndromes disléxicos, pueden entenderse como trastornos específicos de la lectura y la escritura que se manifiestan en personas que por lo demás poseen una capacidad intelectual normal, cuentan con oportunidades sociales y educativas adecuadas y carecen de trastornos neurológicos o sensoriales evidentes (ASHA, 2006).

El Manual Diagnóstico y Estadístico de las enfermedades mentales, en su cuarta revisión (DSM IV-R), contempla los trastornos de la lectura y la escritura por separado, clasificándoles en su apartado de “Trastornos de inicio en la infancia, la niñez o la adolescencia” como “Trastornos de lectura (F81.0)” y “Trastorno de la expresión escrita (F81.8)”. A manera de síntesis, los criterios para su diagnóstico

incluyen “un rendimiento (en lectura y escritura) medido con pruebas normalizadas y administradas individualmente, situado sustancialmente por debajo de lo esperado dados la edad cronológica del sujeto, su coeficiente de inteligencia y la escolaridad propia de su edad”, la cual “interfiere significativamente el rendimiento académico o las actividades de la vida cotidiana que exigen la lectoescritura”, y aclara: “de existir un déficit sensorial, las dificultades para la lectoescritura exceden de las habitualmente asociadas a él” (Morrison, 2008).

2.8 Genética de los trastornos de la lectoescritura

A la fecha se ha descrito la naturaleza hereditaria del déficit lector mediante el estudio de familias en que la patología se expresa de forma recurrente (Grigorenko, 2001). La identificación y clonación de los genes cuya mutación se ha relacionado con los síndromes disléxicos ha permitido una caracterización más específica de este trastorno en la que destaca el sustrato biológico. Se presume que los factores genéticos son responsables de entre el 30 y el 70% de la variabilidad en capacidad de lectura prevalente en una población dada (Benitez-Burraco, 2007).

Al grupo de genes cuyo papel en la patogenia de los síndromes disléxicos fue inicialmente identificado se le dio el nombre DYX. El primero de los loci identificados fue el 15q21 (DYX1), el cual tiene que ver con la capacidad de lectura de palabras aisladas y de deletreo. El análisis molecular orientado por este hallazgo permitió la ubicación dentro de la misma región cromosómica de otros genes relacionados, entre los cuales destaca el gen DYX1C1. El gen tiene un tamaño aproximado de 78 kb y consta de diez exones, su ARN mensajero (ARNm) codifica una proteína de 420 aminoácidos que no guarda homología con proteínas conocidas, aunque sí presenta tres dominios TPR (repeticiones tetratricopeptídicas) en su porción carboxiterminal; estas estructuras suelen intervenir en la interacción entre proteínas, por lo que se considera que juega un papel regulatorio en complejos multiproteínicos de transducción intracelular de señales. En este sentido, existe evidencia de la participación de proteínas con

dominios TPR en la regulación del avance del potencial de acción a lo largo del axón y en la sinapsis.

La proteína DYX1C1, que además de expresarse en el sistema nervioso central lo hace también en el pulmón, el hígado y los testículos, tiene en el cerebro una presencia predominante en el núcleo de neuronas del córtex y de células gliales; se ha propuesto que el gen puede intervenir en la regulación de la migración neuronal radial durante la embriogénesis, como ocurre con otras proteínas que poseen dominios doblecortina, como es el caso de DCX.

En pacientes disléxicos han sido detectados ocho polimorfismos de DYX1C1, dos de los cuales parecen estar relacionados de forma inequívoca con el trastorno; uno de estos polimorfismos, el 1249C T, causa una interrupción de la traducción del ARNm, de modo que la proteína incompleta resultante carece de un segmento cuya función parece ser suficiente y necesaria para la migración radial normal de las neuronas.

2.9 Morfología cerebral en los trastornos de la lectoescritura

Galaburda y colaboradores, en los años 70, estudiaron histopatológicamente los cerebros de una cohorte limitada de individuos disléxicos en comparación con cerebros de sujetos normales. Demostraron la existencia de variaciones en la asimetría del plano temporal y anomalías en el desarrollo de estructuras como la corteza cerebral y los cuerpo geniculados lateral y medial. Observaron nidos de neuronas y glía fuera de lugar (ectopia) y regiones focales de distorsión de las capas corticales (microgiria) principalmente en sitios perisilvianos pero también en las regiones prefrontal inferior (región de Broca), opérculo parietal, giro angular y supramarginal, giro temporal superior posterior y superior (región de Wernike) y temporo-occipital, la mayoría de estas regiones involucradas en el desarrollo del lenguaje y en la decodificación de la escritura (Galaburda, 2003).

2.10 Las deficiencias del procesamiento auditivo temporal y los trastornos de la conciencia fonológica

Por varias décadas, los síndromes disléxicos fueron considerados como una patología neuropsicológica carente de un trasfondo fisiológico específico. Sin embargo, partir de la década de 1970 comenzó a acumularse una cantidad significativa de evidencia que comprueba su relación con el compromiso a nivel central de los sistemas sensoriales auditivo, visual (Schulte-Körne, 1999) y somatosensorial (Ramus, 2003).

El componente auditivo ha cobrado relevancia para los enfoques lingüísticos de su fisiopatogenia. En este respecto, se propone que el conjunto que forman el análisis auditivo temporal y la memoria de trabajo verbal, constituye la base para la adquisición de la conciencia fonológica, misma que es indispensable para la decodificación grafo-fonemática de la lectura (Crespo, 2003).

Ramus (2004) establece que el déficit fonológico de los pacientes disléxicos se compone de tres elementos esenciales: una pobre conciencia fonológica manifestada por dificultad para identificar, separar y unir los sonidos del lenguaje, un enlentecimiento en la capacidad de selección de palabras que denota fluencia léxica limitada y una memoria verbal de corto plazo restringida, observada en tareas de repetición de palabras no familiares, pseudopalabras y dígitos. En la clínica, estas afirmaciones se corroboran ampliamente.

Son abundantes los trabajos sobre dislexia que han estudiado el análisis neurológico de las aferencias auditivas de tipo verbal (Chermak, 1997), sin embargo, sólo hasta la última década ha comenzado a atribuirse relevancia en este padecimiento al procesamiento central de los elementos puros o no verbales de la información auditiva.

El grupo de trabajo de Musiek, para estudiar la disfunción perceptual auditiva en niños con bajo rendimiento escolar (Musiek, 1982), se valió de una batería que incluía siete pruebas, seis de las cuales eran verbales y sólo una de tipo no verbal, la cual estudiaba el juicio de la duración de un tono puro: las alteraciones más significativas fueron encontradas en esta última prueba, sin embargo la diferencia

de desempeño de los pacientes ante uno y otro tipo de información no fue incluida en la discusión de resultados. Un trabajo posterior del mismo autor en pacientes adultos con daño neurológico comparados con individuos sanos en cuanto a su capacidad para juzgar la duración del sonido, dio la pauta para continuar la investigación en este sentido y buscar una posible relación con los trastornos de la lectoescritura (Musiek,1990).

Posteriormente, se publicaron las primeras evidencias claras de la relación entre las fallas perceptuales de las características esenciales del sonido y los trastornos de la lectoescritura. La hipótesis de la deficiencia en el “Procesamiento temporal auditivo rápido” como eje causal de la dislexia propuesta por Tallal y colaboradores (Tallal,1973) señala que la discriminación rápida de los cambios en el patrón acústico de los estímulos sonoros es indispensable para el procesamiento fonológico del lenguaje y su posterior codificación grafemática. Desde entonces, la misma autora ha aportado mayor evidencia (Tallal, 1974, 1976, 1980) respecto de la importancia de un procesamiento fiel de los patrones temporales de la audición para la correcta adquisición de la lectura y la escritura.

Es importante comentar la relación de continuidad que con frecuencia guardan las deficiencias fonológicas del preescolar -manifestadas como un trastorno específico del lenguaje- y las dificultades para la consolidación de la lectoescritura (Rapin, 1987; Silva, 1987; Crespo, 2003). Los resultados de estudios en niños con trastornos del lenguaje permiten afirmar que también existe una relación entre estos y las patologías del procesamiento auditivo (Tallal, 1974, 1976; Benasich, 2002, 2002^a; Corriveau, 2007).

La serie de estudios de Tallal y colaboradores arrojó resultados que demostraron que los pacientes disléxicos con antecedentes de disfasia tienen una capacidad relativamente menor para discriminar o secuenciar estímulos acústicos rápidamente presentados (Benasich, 2002; Benasich, 2002a).

En años posteriores, numerosos autores han probado la relación de las habilidades fonológicas con las deficiencias perceptuales auditivas finas en niños y adultos sanos y con trastornos de la lectoescritura (Ben-Yehudah, 2004; Amitay, 2002; Schulte-Körne, 1998). Los aspectos que han sido evaluados por medios

psicoacústicos y en los cuales se ha comprobado una asociación significativa son la discriminación de la altura tonal (France, 1990), la duración (Corbera, 2006) y el ritmo (Muneaux, 2004). A medida que se ha hecho factible el registro de la actividad neural que subyace a los procesos perceptuales (Näätänen, 2006; Pakarinen; 2007), otros grupos de estudio se han valido de herramientas electrofisiológicas tales como el registro de potenciales relacionados a eventos, particularmente en la modalidad de potenciales de discrepancia (*Mismatch Negativity*) para demostrar dicha relación (Santos, 2005; Kujala, 2006). Otros autores han considerado la validez pronóstica de la sensibilidad a la modulación tonal para las habilidades fonológicas y lectoras (Talcott, 1999).

El eslabón que parece unir el análisis auditivo temporal con la adquisición de la conciencia fonológica parece ser la predeterminación que muestra el sistema auditivo humano para preservar con fidelidad las frecuencias bajas de modulación de la amplitud, específicamente en el rango de 3 a 6 Hz, el cual es característico de las señales verbales, toda vez que la tasa de producción silábica del habla fluente se sitúa precisamente en ese rango (Mennel, 1999; Lorenzi, 2000; Muneaux, 2004).

Las condiciones que limitan la capacidad del individuo para codificar las frecuencias bajas de modulación de la amplitud tienen consecuencias negativas, desde este punto de vista, sobre la capacidad del individuo para percibir espontáneamente la segmentación del lenguaje en sus componentes individuales y, por tanto, para distinguirlos, conocerlos por separado y asignarles un símbolo gráfico, es decir, internalizar el código fonema-grafemático (Helenius, 1999).

2.11 El estudio del procesamiento auditivo temporal

En la actualidad, la evaluación objetiva de la capacidad de análisis auditivo temporal cuenta con dos herramientas psicoacústicas principales: el estudio de la Función de Transferencia Temporal de la Modulación (Viemester, 1979) a través de la detección de modulaciones sinusoidales a la amplitud (MSA) de un acarreador acústico y la detección de una pausa (“*gap*”) en una señal continua o entre dos sonidos, ya sean tonos puros (Moore, 1993; Schneider, 1999) o ruido (Florentine, 1999).

Dado que una pausa en ruido se asemeja notablemente a una corta modulación del 100% a dicha señal, puede considerarse que realizar estas dos tareas involucra mecanismos similares, aunque no puede afirmarse que sean idénticos.

2.11.1 La función de transferencia temporal de la modulación

El concepto de Función de Transferencia Temporal de la Modulación (FTTM), propuesto en 1973 por Houtgast y Steeneken, fue formulado en principio como un índice de la inteligibilidad del habla en los auditorios y otros recintos. Si consideramos al discurso original del hablante como la “emisión” y al discurso captado desde la posición del oyente como la “recepción”, observamos que la segunda no es la copia fiel de la primera, lo cual pone en evidencia distintos grados de imperfección acústica del recinto; la FTM ofrece, en sentido físico estricto, un medio para determinar la variación máxima entre la distribución de la energía sonora de la emisión y la de la recepción que aún preserve las cualidades que hacen al habla inteligible (Houtgast, 1985).

En términos acústicos, el habla puede entenderse como un flujo de sonido con un patrón específico de distribución de la energía en el tiempo y en el espectro de frecuencias (Drullman, 1994). Entre la emisión y la recepción, se pierden en medida variable los detalles finos de esta distribución temporal de la intensidad en el habla, lo cual se incrementa por el efecto combinado de las muchas rutas lineales por las que el sonido llega al receptor, las cuales tienen diferentes tiempos

de diferimiento dependiendo de las distancias de la fuente al oyente y de las superficies reflectoras. Es con base en estos conceptos que han surgido las aplicaciones de la función de transferencia de la modulación como un índice de la disipación de los patrones acústicos y el grado en el que ésta interfiere con la inteligibilidad del habla.

Previsiblemente, poco tiempo después de haber comenzado el estudio de este fenómeno en el campo de la acústica, se vislumbró la existencia de factores independientes del recinto e intrínsecos al oyente que afectan de forma adicional la recepción del mensaje. El estudio de dichos factores, en la normalidad y en la patología, ha ocupado ya por más de una década al campo de la psicoacústica (Lee, 1994).

La FTTM especifica la reducción del índice (o profundidad) de modulación del envolvente de intensidad en función de la tasa (o frecuencia). En su aplicación psicoacústica, implica además la capacidad del sistema auditivo humano para identificar y procesar la modulación del sonido con respecto al tiempo. La cuestión de cuáles frecuencias de modulación son relevantes en la transmisión de la información hablada, se relaciona directamente con la cuestión de cuáles son las frecuencias de modulación presentes en la señal del habla del emisor (Houtgast, 1985). Los experimentos que condujeron a la respuesta se basaron en el estudio de piezas de habla de un minuto de duración grabadas en diferentes condiciones de ambiente y reverberación, emitidas por diferentes hablantes, con temas, modos e incluso idiomas distintos. Después del tratamiento acústico de estas muestras se observó que el envolvente de amplitud de las mismas, a pesar de la variedad de condiciones, es notablemente similar (Steeneken, 1983). Todas mostraron un índice máximo de modulación alrededor de 3 Hz, lo cual conduce a la conclusión de que el habla fluente presenta marcadas modulaciones de intensidad alrededor de tres veces por segundo.

La relevancia de la información temporal en la inteligibilidad de un mensaje por un receptor ha sido probada mediante experimentos en los cuales se ha suprimido el componente espectral (de frecuencias centrales y armónicos) de una pieza de habla y se ha preservado el envolvente temporal de su amplitud (Purcell, 2004).

Un grupo de investigación separó una señal verbal en cuatro bandas de frecuencia y determinó las modulaciones de amplitud realizadas en cada una de ellas, posteriormente las aplicó a un acarreador de ruido eliminando la información frecuencial; en virtud de las altas tasas de identificación correcta del mensaje observadas, demostraron que los envolventes temporales de amplitud de las diferentes regiones espectrales constituyen un elemento necesario y suficiente para la inteligibilidad (Shannon, 1995).

2.11.2 Sensibilidad a la modulación sinusoidal de la amplitud

La detección del ruido de banda ancha de amplitud sinusoidalmente modulada (MSA) puede ser empleada clínicamente para medir la sensibilidad del sistema auditivo de un individuo a las fluctuaciones sonoras (Wakefield, 1990; Yost, 2007). La modulación sinusoidal de la amplitud es descrita por la función:

$$[1+m\sin(2\pi F_m)] n(t)$$

donde m es la profundidad o índice de la modulación ($0 \leq m \leq 1$), F_m es la frecuencia de modulación y $n(t)$ es el estímulo acarreador de ruido.

La tarea del individuo es detectar la señal modulada, por ejemplo, indicando cuál es la señal entre dos que porta la fluctuación de intensidad. Se obtiene una función psicométrica para cada tasa de modulación de amplitud (F_m) relacionando el desempeño (proporción de respuestas correctas) con la profundidad de la modulación (m). A medida que la profundidad de la modulación disminuye, la señal da la impresión de portar una menor fluctuación de intensidad y se parece cada vez más a la señal de ruido no modulado. El umbral de profundidad de modulación se determina mediante estas funciones psicométricas y se grafica como una función de la tasa de modulación. El valor del umbral m (umbral de profundidad de modulación, con valor entre 0 y 1) se expresa en decibeles en una función logarítmica como $20 \log m$, donde 0 dB representa una modulación del

100% ($m=1$) y mientras más negativa es en decibeles, más pequeña es la profundidad.

Por ejemplo:

0% de modulación	$m= 0$	$20 \log m= -\infty$
20% de modulación	$m= 0.2$	$20 \log m= -14 \text{ dB}$
50% de modulación	$m= 0.5$	$20 \log m= -6 \text{ dB}$

Se desprende de este planteamiento que mientras menor es el valor de m (menor profundidad de la modulación), mayor será su representación en dB y a la inversa: entre mayor es el valor de m (mayor profundidad de la modulación) su resultado en dB será menor.

La utilidad de las funciones logarítmicas para describir la intensidad sonora y su modulación se describe en el Apéndice 6.

Aunque inicialmente se emplearon tonos puros para estudiar la sensibilidad a la MSA (Carlyon, 2000), por varias razones la tendencia actual es la de usar el ruido blanco como acarreador de la señal. Con respecto al tipo de modulación a emplear, en términos de análisis de sistemas lineales, se requiere que la modulación de una onda sinusoidal tenga como resultado una modulación con forma sinusoidal; así mismo, se necesita que el factor de reducción de la modulación del sistema sea independiente de la profundidad inicial de la modulación. El ruido blanco ofrece ambos beneficios.

Es importante considerar el espectro que ha de cubrir el ruido, ya que un sistema de transmisión de sonido se caracteriza por un conjunto de funciones de transferencia de la modulación, cada uno correspondiente a una región específica de frecuencias del acarreador; el ruido blanco tiene la ventaja de cubrir una gama amplia de dichas frecuencias, lo cual permite obtener mayor información en menos tiempo sobre el tratamiento que el sistema auditivo da a la señal (Joris, 2004).

2.12 Procesamiento del sistema auditivo humano a las señales moduladas

La capacidad de los oyentes humanos para detectar y discriminar las variaciones de amplitud ha sido objeto de investigación desde el siglo XVIII, bajo las limitaciones técnicas de cada época. El desarrollo tecnológico del siglo XX dio un nuevo auge a su estudio al hacer posible la síntesis digital de estímulos complejos. El avance de la neurociencias, por otro lado, abrió una puerta mediante el registro electrofisiológico de la unidad neural simple.

Los hallazgos experimentales indican que las profundidades de modulación requeridos para detectar el ruido sinusoidalmente modulado permanece constante hasta tasas de modulación de aproximadamente 50 Hz, y a medida que la tasa supera este nivel, los umbrales declinan a un ritmo de -4 dB/octava, lo cual indica que las fluctuaciones de la amplitud del ruido son más difíciles de detectar. Esto es, a medida que las tasas de modulación incrementan, la profundidad de la modulación debe ser mayor para que el oyente pueda detectarla.

La forma de la curva de datos en la es como la de un filtro de pasa-graves. Por tanto, la FTTM muestra que el sistema auditivo se comporta como un filtro de pasa-graves que atenúa la profundidad de la modulación para tasas por encima de su punto de corte, aproximadamente en 50 Hz, incrementando la dificultad del oyente para detectar la fluctuación de amplitud en tasas altas de modulación (Gallun, 2006). Esta especie de filtro de pasa-graves describe la forma en que los estímulos de amplitud modulada son procesados por el sistema auditivo.

2.13 El desarrollo del análisis acústico temporal en el sistema nervioso

Los estudios dirigidos a observar el desarrollo de la resolución temporal auditiva en los niños han concluido que, en los individuos sanos, esta habilidad se encuentra desarrollada y es evaluable a los 6 años de edad (Hall, 1994) aunque se presume que sigue mejorando en función de la edad hasta los 9 o 10 años, a partir de los cuales el desempeño es comparable con el del adulto (Formby, 1985) con variaciones que dependen del factor atencional.

2.13.1 Codificación de la amplitud modulada en el sistema auditivo humano

La característica esencial de la codificación de la amplitud modulada en el sistema nervioso central consiste en que, a medida que se avanza en los niveles de la vía auditiva hacia el encéfalo, se observa una tendencia a obtener una respuesta neural más consistente con frecuencias de modulación menores.

2.13.1.1 Nervio auditivo

El límite superior de la sensibilidad a la modulación parece situarse alrededor de los 2.2 kHz. Esta frecuencia de modulación coincide con el límite de la respuesta neural en fase de las células tipo I (Musiek, 2007). En estudios de unidad simple su ganancia es cercana a la unidad, es decir, la modulación de la respuesta neural coincide casi uno a uno con la modulación del estímulo. La sincronización es más notable a altas intensidades, pero llega fácilmente a la saturación y a altos niveles ya no se observan variaciones en la tasa de descarga neural ante los incrementos.

2.13.1.2 Núcleos cocleares

La ganancia o sincronización de la descarga neural con la modulación de amplitud es mayor en la población de células tipo pulpo y multipolares del Núcleo Coclear Posteroventral (NCPV) cuyas respuestas son de tipo *onset* puro (Oi) y *onset-chopper* (Oc). Se piensa que estas células son importantes para la extracción de la frecuencia fundamental de la voz hablada.

Dado que el rango dinámico de los núcleos cocleares es mayor que la del nervio auditivo, los incrementos de nivel causan mayor respuesta neural incluso a altas intensidades. Destaca la importancia de la respuesta tipo *chopper* como oscilador neural en su capacidad para transducir el estímulo al resto de la vía auditiva.

2.13.1.3 Complejo olivar superior

Se sabe que a medida que la vía auditiva avanza de la periferia a las estructuras centrales, su capacidad de codificación de los estímulos en tiempo real (un periodo del estímulo equivalente a una descarga del potencial de acción neural) disminuye. Es por ello que a este nivel llama la atención la conversión de la codificación “uno a uno” (temporal) al análisis fundamentado en la promediación del estímulo (por tasa). La importancia de este relevo en la localización del sonido estriba en su capacidad de procesamiento de la diferencia de tiempos interaurales, lo que da fe de su importancia en el análisis temporal de la modulación. Su tasa de mejor respuesta se encuentra alrededor de los 300 Hz (Joris, 2004).

2.13.1.4 Colículos inferiores

Esta estructura parece ser el centro de convergencia en la codificación de la AM. Sus proporciones de sincronía con la modulación, con respecto a la profundidad de la misma, son las más altas del sistema auditivo con un umbral de -15 a -20 dB y una ganancia cercana a la unidad bajo el sistema de promediación de tasa. Su mejor respuesta neural a la modulación se observa en el orden de 200 Hz. (Krishna, 2000)

2.13.1.5 Cuerpo Geniculado Medial

En los mamíferos, se observa a nivel talámico una descarga neural más consistente ante modulaciones que rondan los 32 Hz. En este relevo es mayor la profundidad m de modulación necesaria para generar la despolarización neural en comparación con la que la provoca a nivel de los colículos inferiores.

2.13.1.6 Corteza auditiva primaria

El rango de sincronización de las neuronas de la corteza auditiva primaria (AI) a la amplitud modulada ha sido explorado en varias especies encontrando relativa uniformidad ya que la tasa de modulación que causa la mejor respuesta neural en ningún caso supera los 30 Hz y, en el gato, con un gran predominio por debajo de los 15 Hz. Se ha comprobado que sus respuestas son en general homogéneas independientemente de sus frecuencias características (Joris, 2004)

Al nivel de AI ya es mucho más aparente, en todas las especies estudiadas, la sincronización de las respuestas neuronales con los envolventes temporales de estímulos ecológicamente relevantes que implican la percepción de periodicidad y, significativamente en el ser humano, con la tasa de producción silábica y otros patrones rítmicos de la comunicación oral.

Zatorre y Belin emplearon la imagen de Tomografía por Emisión de Positrones para determinar aspectos de lateralidad en el procesamiento temporal y espectral en AI. Concluyeron que el núcleo de ambas cortezas auditivas primarias responde a la variación temporal, mientras que las áreas temporales anterosuperiores de ambos hemisferios responden a la variación espectral. Por otra parte, determinaron que el reforzamiento ante las variaciones temporales rápidas tuvo predominio en el hemisferio izquierdo, mientras que la misma respuesta se observó en el hemisferio derecho ante los cambios espectrales (Zatorre, 2001).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El análisis auditivo temporal es una capacidad cuyo déficit con frecuencia pasa inadvertido al estudiar clínicamente a un paciente por trastornos de la lectoescritura. Esta deficiencia tiene consecuencias negativas sobre el logro de la conciencia lingüística, la cual constituye la base del proceso de adquisición de la lectoescritura.

Actualmente no se dispone de herramientas objetivas que aborden estas deficiencias finas del procesamiento auditivo.

JUSTIFICACIÓN

Consideramos necesario obtener datos con respecto a los trastornos del procesamiento auditivo no verbal en la población que atiende el INR por trastornos de la lectoescritura, toda vez que este conocimiento afinará el criterio médico y terapéutico sobre los métodos de rehabilitación a emplear.

En este respecto, actualmente no contamos con la evidencia clínica que sustente la elaboración de un programa formal de rehabilitación del déficit en el procesamiento auditivo no verbal. Este trabajo se orienta a recabar dicha información.

Es necesario además validar herramientas que nos permitan diagnosticar a la población con deficiencias perceptuales auditivas específicas relacionadas con el análisis auditivo temporal, mismas que se proyectan como alteraciones de la fluencia, el ritmo y la prosodia del habla y el lenguaje, con implicaciones semánticas.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los umbrales de detección de la Modulación Sinusoidal de la Amplitud y la Función de Transferencia Temporal de la Modulación en niños con alteraciones de la conciencia fonológica y en controles.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Explorar comparativamente el desempeño en pruebas de habilidades metalingüísticas de niños con alteraciones de la conciencia fonológica y controles.

Explorar la utilidad de una prueba psicoacústica generada digitalmente para el estudio de la sensibilidad a la MSA y la FTTM.

HIPÓTESIS

Los umbrales de detección de la amplitud modulada en ruido blanco a 4, 16, 64, 256 y 1024 Hz de los niños con alteración en la conciencia fonológica mostrarán una diferencia significativa con respecto a los de los niños del grupo control.

PACIENTES, MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 Tipo de estudio

Observacional, transversal, prospectivo y comparativo.

8.2 Criterios de inclusión

Grupo de estudio

- Niños y niñas de 7 a 11 años de edad.
- Estudiantes de educación primaria que no hayan recurrido a los grados.
- Hablantes de español como primera lengua.
- Portadores de un trastorno de la lectoescritura.
- Bajo desempeño en la evaluación de habilidades metalingüísticas definido como: obtener un puntaje inferior al correspondiente a la percentila 50 según las tablas normalizadas de la ENI en 7 de las 9 subpruebas que componen su apartado de Habilidades Metalingüísticas.
- Coeficiente Intelectual Total medido con la Escala de Inteligencia de Weschler Revisada para Escolares de 85 o superior.

Grupo de control

- Niños y niñas de 7 a 11 años de edad.
- Estudiantes de educación primaria que no hayan recurrido a los grados.
- Hablantes de español como primera lengua.
- Sin trastornos de la lectoescritura.
- Desempeño normal en la evaluación de habilidades metalingüísticas definido como: obtener un puntaje correspondiente a la percentila 50 o superior según las tablas normalizadas de la ENI en 7 de las 9 subpruebas que componen su apartado de Habilidades Metalingüísticas.
- Coeficiente Intelectual Total medido con la Escala de Inteligencia de Weschler Revisada para Escolares de 85 o superior.

8.3 Criterios de exclusión

- Antecedentes o evidencia clínica de patologías neuropsiquiátricas concomitantes (Apéndice 2).
- Déficit auditivo o déficit visual sin corregir.
- Trastornos emocionales severos detectados en la entrevista psicológica.

8.4 Criterios de eliminación

- Individuos que no hayan concluído algún aspecto de la evaluación.

8.5 Pacientes y controles

Grupo de estudio: 14 niños (10 varones y 4 mujeres) de entre 7 y 11 años de edad (media: 8.6 años), estudiantes de los grados 2º a 5º de educación primaria en escuelas públicas de la Ciudad de México, pacientes del Instituto Nacional de Rehabilitación, diagnosticados con trastornos de la lectoescritura.

Grupo control: 14 niños (10 varones y 4 mujeres) de entre 7 y 11 años de edad (media: 8.5 años). La fecha de nacimiento de 12 de los 14 integrantes tuvo como máximo 15 días de diferencia con la de su par del grupo de estudio. En un caso esta diferencia fue de un mes y en otro de dos meses. Estudiantes de los grados 2º a 5º de la Escuela Primaria Federal “Gral. Lázaro Cárdenas del Río”, de la Ciudad de México, sin trastornos de la lectoescritura.

8.6 Materiales

Todas las pruebas de habilidades fonológicas fueron aplicadas en un salón o cubículo vacío. La lectura de No Palabras se realizó por medio de tarjetas tamaño media carta en las que la No Palabra se imprimió con letras negras, fuente Arial,

tamaño 28. Los niños realizaron la prueba de escritura a lápiz sobre hojas blancas.

La audiometría tonal, la logaudiometría y la prueba de FTTM de cada participante se realizó en el área de Comunicación Humana del Instituto Nacional de Rehabilitación, en una cámara sonoamortiguada que cumple con los lineamientos de la norma ISO 11957:1996 (ANSI s3.1: 1991), con un audiómetro Amplaid modelo 460, calibrado bajo la norma ISO 389-1:1998. Para la logaudiometría se empleó la Serie de Logotomos en español "UNAM-INCH" grabada en CD, reproducidos en un equipo RCA a través de la función "Speech" del mismo audiómetro, a 20, 40 y 60 dB SL.

La prueba de FTTM fue programada en MATLAB, en el Laboratorio de Acústica y Vibraciones del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CECADET) de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se administró por medio de una computadora portátil Apple PowerBook G4 comunicada al mismo audiómetro a través de la función "Speech" y fue reproducida con el programa MATLAB 7.4.0 (R2007a, The MathWorks, Inc.).

La calibración de intensidad de la prueba FTTM se realizó en la cámara sonoamortiguada a 75 dB SPL por medio de un oído artificial Bruel & Kjaer.

Todos los estímulos fueron presentados a través de audífonos supraurales TDH Telephonics.

8.7 Métodos

8.7.1 Selección de los grupos

Selección del Grupo de Estudio (GE)

Se visitó a los Terapeutas de Lenguaje y Aprendizaje del área de Comunicación Humana del Instituto Nacional de Rehabilitación para describir el proyecto y solicitar los datos de los pacientes bajo su tratamiento que a su juicio presentaran alteraciones de la conciencia fonológica. De los pacientes sugeridos, se

seleccionó con base en el expediente de terapia a aquellos que cumplieran con el resto de los criterios de inclusión previamente descritos (Apéndice1).

Se contactó a los padres de familia para explicar el propósito del estudio y solicitar el consentimiento informado para la participación de sus hijos.

Selección del Grupo Control (GC)

A partir de listas de grupo proporcionadas por la Dirección de la Escuela, fue seleccionado, para cada integrante del GE, un grupo de 6 niños cuya fecha de nacimiento según la CURP (Clave Única de Registro Poblacional) se aproximara con un máximo de ± 15 días a la del niño del GE, cuidando que además coincidieran en cuanto al género y al grado escolar cursado.

Se solicitó a los profesores de grupo referencias de estos estudiantes con respecto a sus habilidades de lectoescritura, descartando la participación de los niños con deficiencias en este rubro.

A los niños restantes se aplicó la evaluación de habilidades fonológicas. Se entrevistó a los padres de cada niño para conocer sus antecedentes, los cuales se registraron en un formato (Apéndice 2).

8.7.2 Evaluación de conciencia fonológica y habilidades metalingüísticas

Se aplicó a cada uno de los participantes en forma individual el apartado de Habilidades Metalingüísticas de la Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI) según las instrucciones de administración de la prueba que establece su Manual (Matute, 2007). Se aplicaron además 4 pruebas de la misma Evaluación que no están incluidas en dicho apartado, en las que sin embargo interviene directamente la conciencia fonológica, sumando un total de 9 secciones. La descripción detallada de la prueba aplicada se encuentra en el Apéndice 3. Se cuantificó el número de aciertos y se estadificó su desempeño según las tablas percentilares normalizadas por edad de la ENI.

Todas las pruebas de habilidades fonológicas fueron administradas y calificadas por el mismo examinador.

8.7.3 Evaluación psicológica.

Un Psicólogo clínico realizó a los padres de cada niño una entrevista encaminada a detectar problemas emocionales severos. Posteriormente se aplicó a cada niño las pruebas:

- Escala de Coeficiente Intelectual de Weschler Revisada (WISC-R) para el Nivel Escolar.
- Test Gestáltico Visomotor de Bender.
- Test de la Figura Humana.

8.7.4 Programación de la prueba FTTM

Se empleó el programa MATLAB 7.4.0 R2007a (The MathWorks, Inc.). El código puede consultarse en el Apéndice 7.

8.7.5 Descripción de la prueba FTTM

El programa informático fue diseñado para presentar dos señales de ruido blanco (RB) subsecuentes, la primera de ellas sin modular (RBNM, ruido blanco no modulado) y la segunda modulada (RBM, ruido blanco modulado). A cada una de las señales se le dio una duración estable de 500 ms (2.5 ms de inicio y 2.5 ms de finalización). El intervalo entre estímulos se fijó en 500 ms.

La expresión empleada para programar la modulación del RBM fue:

$$s(t) = c [1+m \sin(2\pi F_m t)] n(t)$$

donde m es la Profundidad de la modulación ($0 \leq m \leq 1$), F_m es la Frecuencia de modulación (4, 16, 64, 256, 1024 Hz) y $n(t)$ es el estímulo acarreador de ruido.

En las siguientes figuras se muestran, para mayor claridad, dos ejemplos de las señales de estímulo; se representan los primeros 0.5 segundos la señal de RBNM,

después 0.5 segundos de silencio y, finalmente, 0.5 segundos de la señal de RBM. En la Figura 1 el índice de modulación es pequeño ($m=-24$ dB), el efecto de la modulación es poco notorio y el individuo requerirá una mayor sensibilidad para percibirlo.

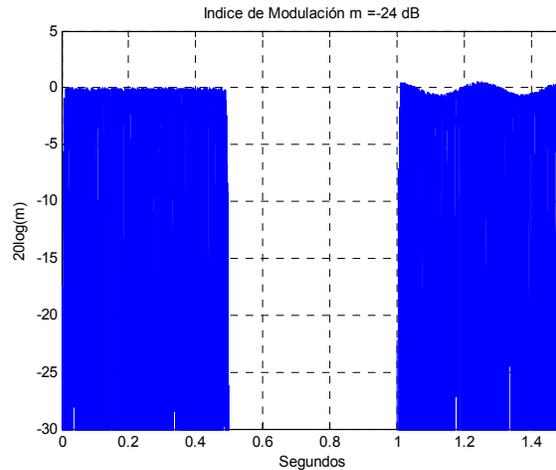


Figura 1. Expresión gráfica de las señales de ruido blanco no modulado (RBNM) y de ruido blanco modulado (RBM). La señal de RBM porta un índice o profundidad de modulación bajo.

En la Figura 2 se presenta un índice de modulación grande ($m=-1$ dB). El efecto es marcado y una sensibilidad menor es suficiente para percibirlo.

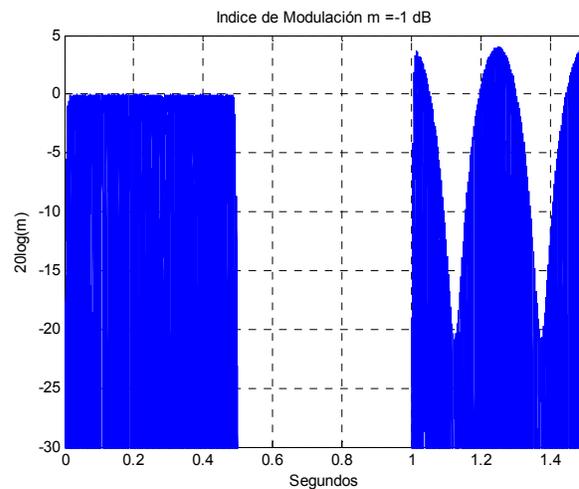


Figura 2. Expresión gráfica de las señales de ruido blanco no modulado (RBNM) y de ruido blanco modulado (RBM). La señal de RBM porta un índice o profundidad de modulación alto.

Ha de observarse, adicionalmente, que la altura de la señal modulada en la Figura 2 tiene una amplitud mayor que la señal no modulada. Esto se debe a que se compensó la señal modulada con el factor:

$$c = \left(\frac{1 + m^2}{2} \right)^{-1/2}$$

para igualar la cantidad de energía de la señal modulada comparada con la señal no modulada y evitar un sesgo por esta razón. Este factor de compensación es más significativo para un índice de modulación grande, y poco importante para un índice de modulación pequeño.

Para incrementar la confiabilidad del instrumento, el programa fue diseñado para que inicie la presentación de los pares de estímulos con una m del RBM aleatoria, es decir, no inicia necesariamente a partir de una profundidad de modulación notoria para irse complicando gradualmente, ni a la inversa. Se consideró que por este mecanismo se evitaría que el funcionamiento de la prueba fuese predecible por el individuo o se acostumbrara a un patrón que le diera un elemento para responder adicional a su propia percepción.

En la Figura 3 se muestra la interfase para el explorador que incluye una pantalla en la que se observa gráficamente la distribución de la energía del sonido entre ambas señales: la de RBNM (de 0 a 0.5 s) se encuentra a la izquierda y la de RBM, a la derecha, (de 0.5 a 1 s) se observa con la modulación sinusoidal.

A la izquierda de las gráficas se observa la modulación actual (m) en dB del RBM en color naranja.

Los otros elementos de la interfase son recuadros o “botones”:

“Iniciar Prueba”: Inicia el programa.

“Fm Hz” (4, 16, 64, 256, 1024): Cada botón se pulsa para seleccionar la Frecuencia de modulación del RBM.

“Enviar estímulos”: Presenta cada par de señales de RBNM y RBM.

“Terminar Prueba”: Cierra la interfase y despliega en Matlab los resultados en dB por cada F_m estudiada.

“SI”: El examinador pulsa este recuadro cada que el individuo percibió la diferencia entre las señales.

“NO”: El examinador pulsa este recuadro cuando el individuo no percibió la diferencia entre las señales.

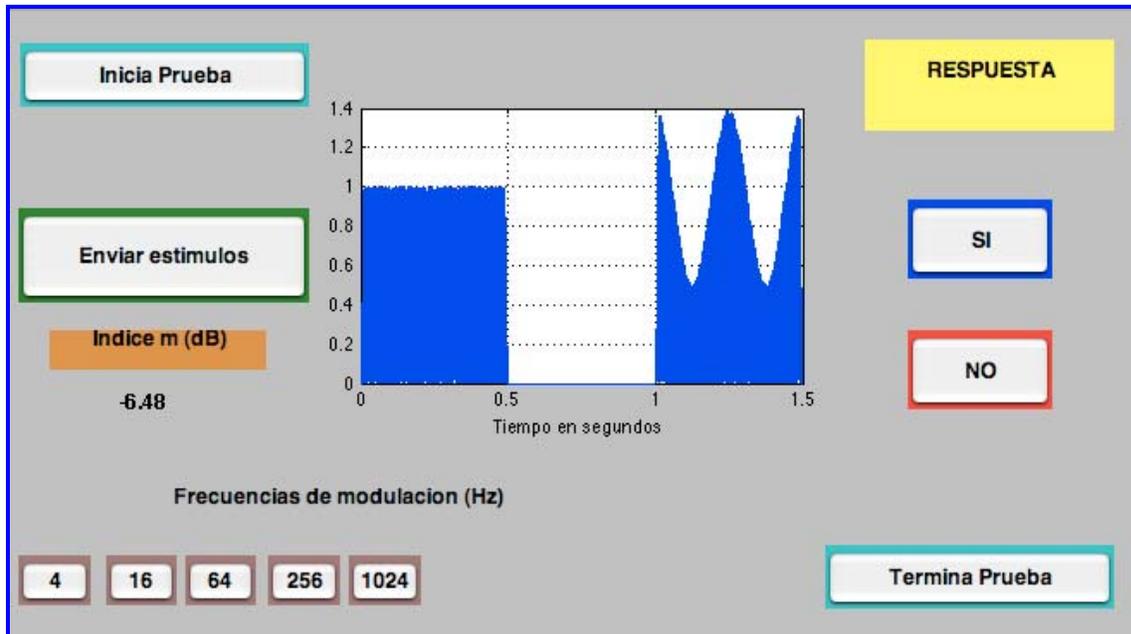


Figura 3. Interfase del programa de FTTM en MATLAB

8.7.6 Método de aplicación de la prueba FTTM

Los estímulos fueron presentados de forma baural a 75 dB SPL, por medio de audífonos supraurales. La tarea del individuo consistió en indicar si las señales se percibían como “Iguales” o “Diferentes” entre sí; se solicitó al participante usar estos dos términos para dar su respuesta.

El explorador inicia la prueba pulsando el recuadro “Iniciar Prueba” y posteriormente selecciona la Frecuencia de modulación (F_m) de inicio (4, 16, 64, 128 ó 1024 Hz). Dado que las dos señales son siempre diferentes, en la interfase del programa el explorador pulsa la palabra “Sí” cada vez que el sujeto advierte

esta diferencia y la palabra “NO” cuando no la percibió. Cuando se pulsa “SÍ”, el programa disminuye la profundidad de la modulación (m) en -2 dB, y cuando se pulsa “NO”, el programa aumenta m en la misma proporción. Esto implica que cada siguiente par de estímulos será determinado por la respuesta que el paciente dio al par anterior. Cabe hacer énfasis en que mientras más se pulse “SÍ”, más sutil se vuelve la modulación, las dos señales se parecen más y es por tanto más difícil para el individuo percibir la modulación. Lo contrario ocurre con una mayor selección del recuadro “NO”: la profundidad de la modulación del RBM incrementa y el sujeto lo distingue con mayor facilidad.

Una vez dadas las instrucciones, el explorador dio un breve entrenamiento en la realización de la prueba a cada paciente, el cual consistió en presentar los estímulos en la Frecuencia de modulación (Fm) de 4 Hz con una Profundidad de modulación (m) inicial de -4 dB para que notara la diferencia entre el RBM y el RBNM, después se continuó con la presentación de los estímulos en la misma Fm solicitando que diera sus respuestas para asegurarse de que comprendió la instrucción. Cuando el umbral se confirmó en dos ocasiones, el paciente se dio por adecuadamente entrenado y se continuó con el resto de la prueba.

8.7.7 Registro de las respuestas y obtención del umbral a la AM

El registro de las respuestas se realizó en un un formato (Apéndice 4) con dos columnas llamadas “Igual” y “Diferente” para cada Fm . Se anotó la m del RBM en dB en la columna correspondiente a la respuesta del niño. El umbral se definió como la menor profundidad m del RBM en dB con la que el paciente percibió los estímulos como “Diferentes”.

Debido al inicio aleatorio de la m del RBM, la secuencia de respuestas que da el paciente antes de llegar a su umbral puede ir de una m mayor hacia una menor, o viceversa, es decir, si se inicia en una profundidad m sutil o pequeña, el paciente dará una serie de respuestas “Igual” y alrededor del umbral cambiará a “Diferente”. Por el contrario, si el programa comienza con una profundidad m mayor o pronunciada, el paciente percibirá los primeros pares de estímulos como

“Diferentes” y después, con la disminución progresiva de la modulación, su respuesta cambiará a “Igual”. A estos cambios de dirección en la secuencia de las respuestas se les llamó “reveses” y el umbral puede entenderse como una profundidad m de modulación “pivote” a partir de la cual se realizaron tres reveses continuos para cada Fm (Ejemplo en el Apéndice 4).

8.7.8 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se empleó la prueba T de Student para muestras independientes, considerándose significativa $p < 0.5$.

Se aplicó una base de datos (Microsoft Excel:Mac 2008) y el Programa Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS) versión 12 .

8.7.9 Consideraciones éticas

Antes de practicar las pruebas a los participantes de este estudio se solicitó y fue obtenido el Consentimiento Informado de al menos uno de sus padres (Apéndice 5).

Se ofreció a los padres de cada niño, como beneficio, un reporte de los resultados obtenidos por su hijo en los estudios audiométricos y la ev

RESULTADOS

9.1 Antecedentes familiares de trastornos del lenguaje y la lectoescritura

Se cuantificó la proporción de participantes con antecedentes familiares de trastornos del lenguaje o la lectoescritura. Se encontró que en el GE el 62% de los niños tienen un familiar en primer o segundo grado que presenta o presentó alguno de estos padecimientos, mientras que el mismo antecedente se registró en sólo el 10% de los niños del GC. Cabe aclarar, sin embargo, que la mayor parte de los padres del GC declararon desconocer este dato de la historia familiar.

9.2 Evaluación psicológica

Todos los pacientes obtuvieron puntajes de Coeficiente Intelectual Total superior a 85, lo cual les sitúa en el rango de Normalidad (Weschler, 2000) para la población mexicana. El promedio del GE fue de 95 y el del GC de 102. Detalladamente, el promedio de Coeficiente Intelectual Ejecutivo del GE fue de 100 y el del GC de 102, mientras que en el Coeficiente Intelectual Verbal la media del GE fue de 87 y la del GC fue 102.

En el Test Visomotor de Bender se observó que todos los niños, tanto del GE como del GC, se situaron por debajo de la edad cronológica con un rango de diferencia entre Edad Cronológica y Edad de Madurez Visomotora de 2 meses a 1 año 2 meses, sin observarse un predominio de la diferencia en alguno de los dos grupos.

En la evaluación cualitativa de la Figura Humana, todos los participantes la proyectaron de acuerdo a lo esperado para su edad cronológica, sin mostrar indicadores significativos de alteración emocional.

9.3 Evaluación de la conciencia fonológica y las habilidades metalingüísticas

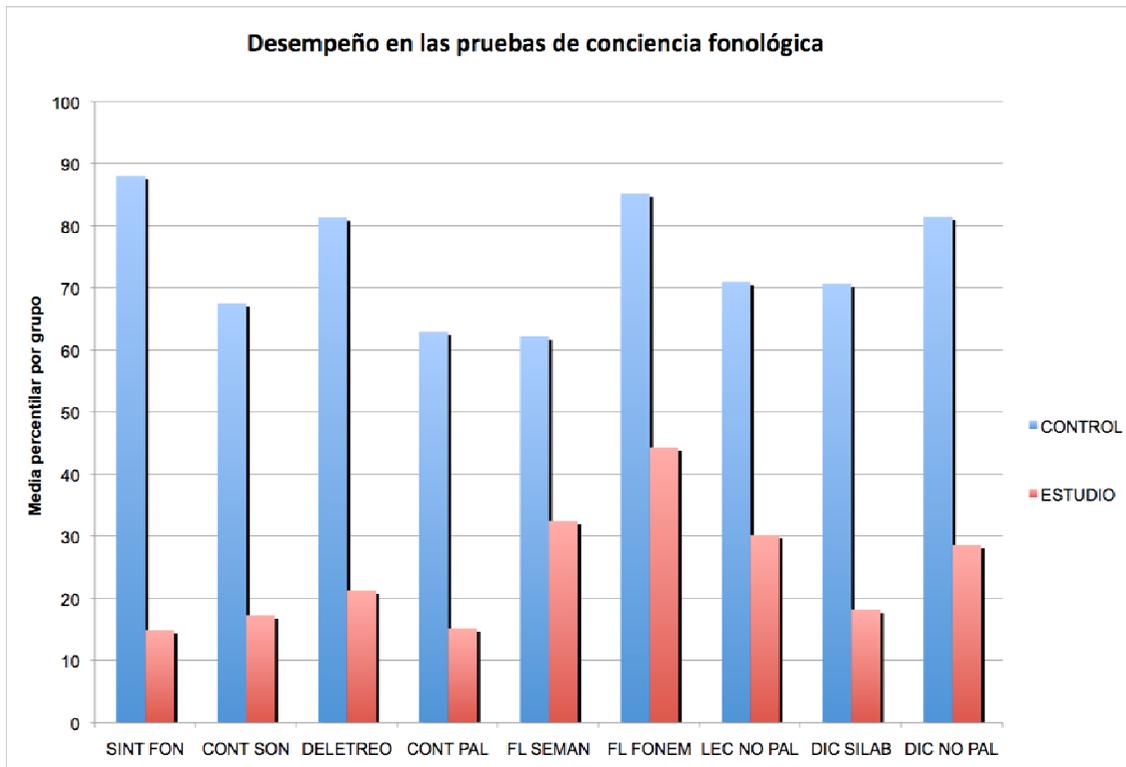
El desempeño en las nueve pruebas aplicadas se describe a continuación:

Tabla 2. Desempeño de los GE y GC en pruebas de conciencia fonológica y habilidades metalingüísticas.

Competencias metalingüísticas	Media de las percentilas por grupo		t	p
	GE (\pm DE)	GC(\pm DE)		
Síntesis fonémica	14.93 (17.4)	88.07(5.2)	15.020	0.0001
Conteo de sonidos	17.29 (21.6)	67.57(15.2)	7.123	0.0001
Deletreo	21.29 (27.2)	81.36 (14.5)	7.301	0.0001
Conteo de palabras	15.21 (17.0)	63.00 (27.2)	5.584	0.0001
Fluidez semántica	32.50 (27.9)	62.21 (18.5)	3.220	0.003
Fluidez fonológica	44.36 (28.8)	85.21 (20.3)	4.081	0.0001
Lectura de No palabras	30.21 (26.6)	71.00 (10.7)	5.317	0.0001
Dictado de sílabas	18.21 (23.0)	70.71 (6.0)	8.296	0.0001
Dictado de No palabras	28.64 (30.0)	81.50 (8.5)	6.281	0.0001

GE: Grupo de Estudio. GC: Grupo de Control. t: valor t para la igualdad de las medias. p: valor p de significancia.

Gráfica 1. Promedios del desempeño en las pruebas de conciencia fonológica de los grupos de estudio y de control.



SINT FON: síntesis fonémica; CONT SON: conteo de sonidos; CONT PAL: conteo de palabras; FL SEMAN: fluencia semántica; FL FONEM: fluencia fonémica; LEC NO PAL: lectura de no palabras; DIC SILAB: dictado de sílabas; DIC NO PAL: dictado de no palabras.

9.4 Análisis auditivo temporal

9.4.1 Sensibilidad a la modulación sinusoidal de la amplitud

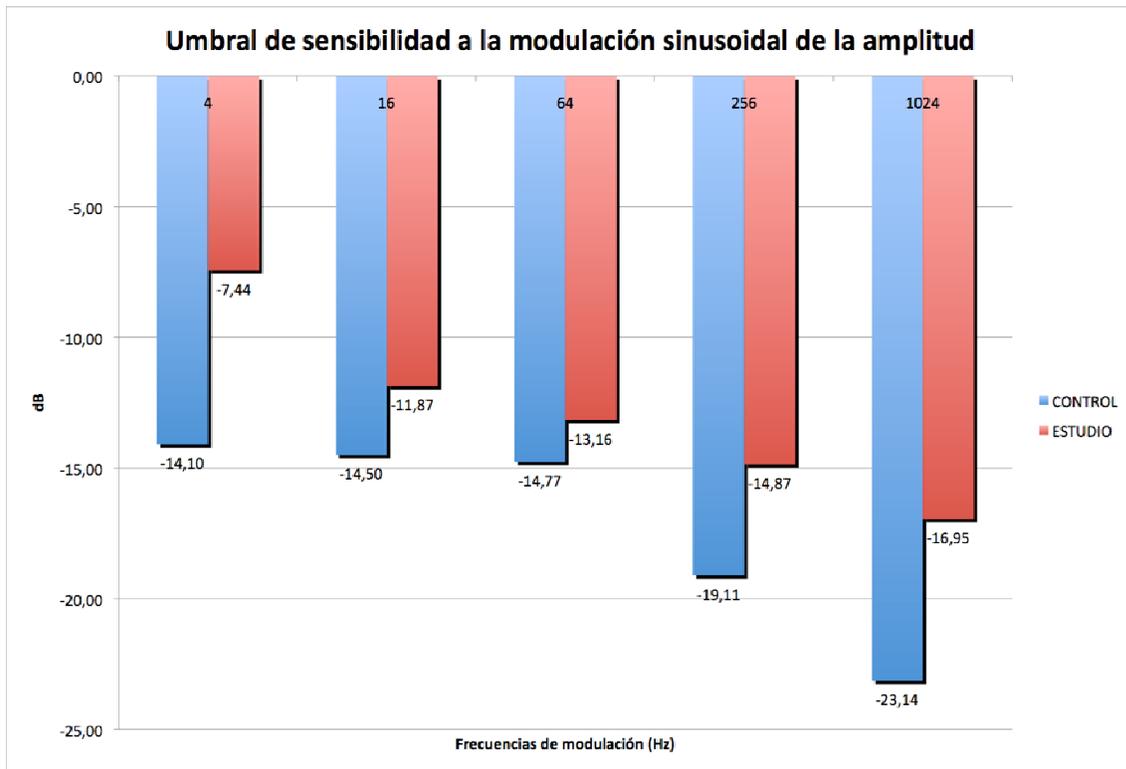
Las medias de los umbrales de percepción de la amplitud modulada en ruido blanco se presentan a continuación:

Tabla 3. Promedio del umbral de sensibilidad a la modulación sinusoidal, por frecuencia de modulación, de los grupos de estudio y de control.

F_m (Hz)	Promedio del umbral por grupo en dB		t	p
	GE (\pm DE)	GC (\pm DE)		
4	- 7.44 (2.4)	-14.10 (4.6)	4.723	0.0001
16	- 11.87 (3.3)	-14.50 (2.5)	2.347	0.0270
64	- 13.16 (3.5)	- 14.77 (5.0)	0.973	0.3400
256	- 14.87 (5.3)	- 19.11 (6.3)	1.909	0.0670
1024	-16.95 (3.8)	- 23.14 (5.1)	3.617	0.0001

F_m : frecuencia de modulación. Hz: Hertz. dB: decibeles. GE: Grupo de Estudio. GC: Grupo de Control. DE: Desviación Estándar. t: valor t para la igualdad de las medias. p: valor p de significancia.

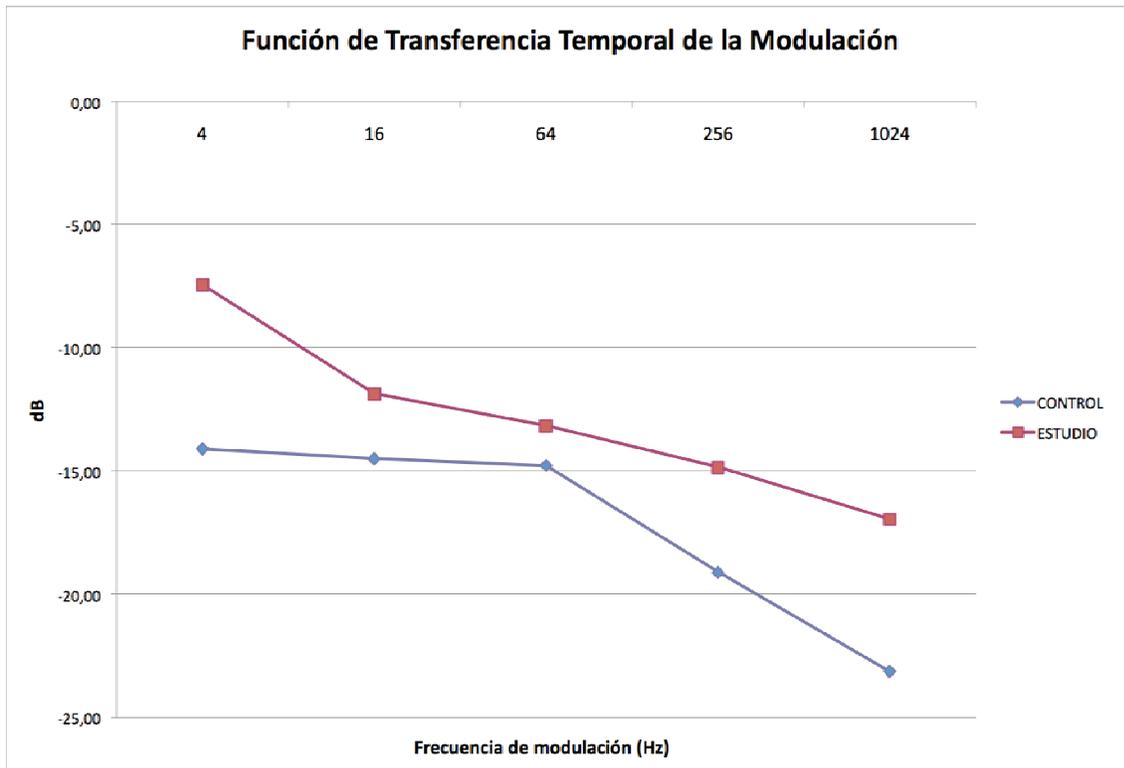
Gráfica 2. Promedio del umbral de sensibilidad a la modulación sinusoidal, por frecuencia de modulación, de los grupos de estudio y de control.



Hz: Hertz. dB: decibeles.

9.4.2 Función de transferencia temporal de la modulación

Gráfica 3. Función de Transferencia Temporal de la Modulación.
Promedio de los grupos de estudio y de control.



Hz: Hertz. dB: decibeles.

DISCUSIÓN

Los presentes resultados aportan evidencia que se suma a la citada con respecto a la relación de coexistencia entre los trastornos de la lectoescritura con un trasfondo fonológico y las alteraciones del análisis temporal de las señales acústicas.

Consideramos que la discrepancia entre grupos en el Coeficiente Intelectual Verbal obedece al compromiso de dos habilidades lingüísticas -la fluencia léxica y la memoria verbal- que forman parte de la evaluación de Weschler. La alteración de estos elementos, según demuestran numerosos estudios, forma parte del espectro clínico de los síndromes disléxicos (Crespo, 2003; Ramus, 2000).

En investigaciones precedentes han sido estudiados grupos de niños y adultos disléxicos cuyos rasgos clínicos no se especificaron. Dado que los síndromes disléxicos conforman un espectro amplio en el que puede predominar la expresión de los aspectos visomotor, somatosensorial o fonológico, consideramos que la prueba de habilidades metalingüísticas empleada en el presente trabajo ha cumplido la función de un tamiz que permitió estudiar a los pacientes con alteración de la lectoescritura de naturaleza esencialmente fonológica. La diferencia significativa entre el desempeño del grupo de estudio y el de control en 8 de las 9 competencias estudiadas, mientras otros elementos de importancia fueron controlados, permite afirmar que la prueba psicoacústica se aplicó a grupos diferentes entre sí en cuanto a su nivel de conciencia lingüística. Las desviaciones estándar amplias que se observan en los promedios de ambos grupos se explican por haber sido empleados valores percentilares en lugar de valores absolutos.

La selección del control para cada paciente procurando un margen estrecho de diferencia entre las fechas de nacimiento consiguió descartar la edad como factor confusor.

La diferencia intergrupala estadísticamente significativa en los umbrales de sensibilidad a la modulación observada en las Frecuencias de modulación (F_m) de 4 y 16 Hz es congruente con la reportada en trabajos realizados por otros grupos. Un estudio realizado en el idioma francés (Lorenzi, 2000) en niños disléxicos y

sanos reporta una diferencia de hasta -9 dB en la sensibilidad al ruido sinusoidalmente modulado a 4 Hz. El trabajo de Rocheron y colaboradores abordó las F_m de 4 y 128 Hz y llegó a conclusiones similares con respecto a la tasa baja, sin encontrar diferencia significativa en cuanto la tasa alta (Rocheron, 2002).

Este estudio no mostró diferencia significativa entre grupos en la sensibilidad a las modulaciones a 64 y 256 Hz. Los umbrales de ambos grupos tuvieron un comportamiento similar al que se observa en las curvas de FTTM reportadas en estudios previos (Formby, 1985; Lee, 1994; Lorenzi, 2000). Puesto que estas frecuencias de modulación superan considerablemente la tasa silábica, cabe esperar que los grupos, diferentes entre sí en cuanto a habilidades fonológicas, no necesariamente tengan comportamientos distintos en frecuencias de modulación ajenas al habla.

Con respecto al instrumento psicoacústico, es de nuestro interés destacar dos elementos incorporados en la metodología de la prueba que no han sido previamente empleados. El primero es el tipo de respuesta que se solicita al paciente: los trabajos precedentes han adoptado la modalidad de “Respuesta forzada entre dos opciones” donde la tarea del individuo ha sido escuchar los pares de estímulos (uno modulado y uno sin modular) presentados en orden aleatorio para después señalar cuál de los dos (el primero o el segundo) es el que está modulado. Esto presupone avisar de entrada al paciente que las dos señales siempre son diferentes entre sí y que una de las dos está modulada, lo cual le predispone con respecto a lo que “debe esperar oír” y le da una pista descriptiva que orienta su respuesta (Rocheron, 2004; Lorenzi, 2000). Una segunda limitante de este método es que, al tener que conservar la huella mnésica de ambos estímulos para dar una respuesta, se involucra en mayor grado la memoria de trabajo auditiva y la atención, haciéndole poco apropiado para la evaluación de niños, especialmente cuando se trata de poblaciones en quienes con frecuencia concurren las alteraciones de la atención y la memoria de trabajo. Al permitir al paciente pensar que en ocasiones las señales pueden llegar a ser iguales y no especificar la cualidad en la que se distinguen, la respuesta es más espontánea y se basa principalmente en la percepción.

El segundo elemento a considerar es la utilidad del inicio aleatorio de la m , toda vez que la falta de predictibilidad de la prueba por parte del paciente aumenta la confiabilidad de la misma.

El presente trabajo obtuvo resultados que difieren de lo reportado en la literatura con respecto al comportamiento de las curvas de FTTM a medida que incrementa la Frecuencia de Modulación. De acuerdo al conocimiento actual, la sensibilidad del sistema auditivo humano a las señales moduladas disminuye a medida que la frecuencia de modulación de las mismas incrementa (Viemester, 1979; Wakefield, 1990; Purcell, 2004; Yost, 2007). Consideramos que la mejoría del umbral conductual observada en ambos grupos en las frecuencias de 256 y 1024 Hz obedece a la presencia de un componente tonal audible agregado al fondo de ruido blanco que pudo haber aportado información espectral para distinguir la señal modulada de la no modulada. Queda aún por determinar si dicho componente tonal representa fenómeno psicoacústico producto de la alta frecuencia de modulación de amplitud (Joris, 2004).

Asimismo, pensamos que el efecto de mejoría que este componente tonal tuvo sobre el umbral a las modulaciones de 256 y 1024 Hz, es una muestra de la colaboración interhemisférica que ocurre en la discriminación de los estímulos sonoros ambientales, ya que si bien la periodicidad del sonido es mejor codificada en el giro temporal izquierdo, el lóbulo temporal derecho juega un papel esencial en la discriminación de los estímulos tonales puros.

La exploración de la sensibilidad a la amplitud modulada en relación con la tasa de producción silábica se habría visto beneficiada con el estudio intencionado de un número mayor de Fm inferiores a los 16 Hz, esto es, realizando cortes más finos del espectro de modulación propio del habla fluente. El hallazgo de significancia estadística en las Fm de 4 y 16 Hz alienta al enriquecimiento de la prueba en este sentido.

CONCLUSIÓN

La función de transferencia temporal de la modulación, medida a través de los umbrales de sensibilidad a la MSA, resultó útil para evidenciar de forma exploratoria un déficit en el procesamiento temporal de las señales acústicas de los niños con alteraciones de la conciencia fonológica en comparación con controles. Esta relativa limitación parece afectar con mayor severidad el análisis de las propiedades temporales de la información verbal.

Conocer con oportunidad la presencia de estas alteraciones en el paciente, puede influir positivamente sobre su plan rehabilitatorio.

REFERENCIAS

1. Amitay S, Ahissar M, Nelken I. Auditory processing deficits in reading disabled adults. *J Assoc Res Otolaryngol* 2002; 2:302-320.
2. Batra R. Responses of Neurons in the Ventral Nucleus of the Lateral Lemniscus to Sinusoidally Amplitude Modulated Tones. *Journal of Neurophysiology* 2006; 96: 2388-2398.
3. Ben-Yehudah G, Banai K, Ahissar M. Patterns of deficit in auditory temporal processing among dyslexic adults. *Neuroreport* 2004; 15(4): 627-631.
4. Benasich AA, Tallal P. Infant discrimination of rapid auditory cues predicts later language impairment. *Behav Brain Res* 2002 Oct 17;136(1):31-49.
5. Benasich AA, Thomas JJ, Choudhury N, Leppänen PH. The importance of rapid auditory processing abilities to early language development: evidence from converging methodologies. *Dev Psychobiol* 2002 Apr; 40(3):278-92.
6. Benitez-Burraco A. Bases moleculares de la dislexia. *Rev Neurol* 2007; 45(8): 491-502.
7. Bishop DV, McArthur GM Individual differences in auditory processing in specific language impairment: a follow-up study using event-related potentials and behavioural thresholds. *Cortex* 2005 Jun; 41(3): 327-41.
8. Boets B, Ghesquière P, van Wieringen A, Wouters J. Speech perception in preeschoolers at family risk for dyslexia: Relations with low-level auditory processing and phonological ability. *Brain and Language* 2006; 101: 19-30.
9. Boets B, Wouters J, van Wieringen A, Ghesquiere P. Auditory processing, speech perception and phonological ability in pre-school children at high-risk for dyslexia: a longitudinal study of the auditory temporal processing theory. *Neuropsychologia* 2007 Apr 9;45(8):1608-1620.
10. Carlyon R, Moore B, Micheyl C. The effect of modulation rate on the detection of frequency modulation and mistuning of complex tones. *Journal of the Acoustic Society of America* 2000; 108: 304-315.
11. Cohen N., Banwick M., Horodezky N., Vallance D. Language achievement and cognitive processing in psychiatrically disturbed children with previously identified and unsuspected language impairments. *J Child Psychol Psychiatry* 1998; 39: 865-77.

12. Corbera S, Escera C, Artigas J. Impaired duration mismatch negativity in developmental dyslexia. *Neuroreport* 2006;17(10):1051-5.
13. Corriveau K, Pasquini E, Goswami U. Basic Auditory Processing Skills and Specific Language Impairment: A New Look at an Old Hypothesis. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 2007; 50: 647-666.
14. Crespo N., Narbona J. Perfiles clínicos evolutivos y transiciones en el espectro del trastorno específico del desarrollo del lenguaje. *Rev Neurol* 2003; 36 (Supl 1): S29-35.
15. Defior-Citoler S. El desarrollo de las habilidades metalingüísticas. *Revista española de lingüística aplicada* 1991; 7: 9-22.
16. Drullman R, Festen J, Plomp R. Effect of reducing slow temporal modulations on speech reception. *Journal of the Acoustic Society of America* 1994;95 (5): 2670-2680.
17. Florentine M, Buus S, Geng W. Psychometric functions for gap detection in a yes-no procedure. *Journal of the Acoustic Society of America* 1999; 106 (6): 3512-3520.
18. Formby C. Differential sensitivity to tonal frequency and to the rate of amplitude modulation of broadband noise by normally hearing listeners. *Journal of the Acoustic Society of America* 1985;78 (1): 70-77.
19. France SJ, Rosner BS, Hansen PC, Calvin C, Talcott JB, Richardson AJ, Stein JF. Auditory frequency discrimination in adult developmental dyslexics. *Percept Psychophys* 2002; 64: 169-179.
20. Galaburda A, Cestnik L. Dislexia del desarrollo. *Rev Neurol* 2003; 36 (Supl 1): S3-9.
21. Gallun F, Hafter E. Amplitude modulation sensitivity as a mechanism for increment detection. *Journal of the Acoustic Society of America* 2006;119 (6): 3919-3930.
22. Goswami U, Thomson J, Richardson U, Stainthorp R, Hughes D, Rosen S, Scott S. Amplitude envelope onsets and developmental dyslexia: a new hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 2006; 99(16): 10911:10916.
23. Griffiths T, Rees A, Green G. Disorders of human complex sound processing. *Neurocase* 1999; 5:365-78.
24. Griffiths T. Central auditory pathologies. *British Medical Bulletin* 2002; 6(1): 107 -120.

25. Grigorenko E. Developmental dyslexia: an update on genes, brains, and environments. *J Child Psychol Psychiatry* 2001 Jan; 42(1):91-125.
26. Hall J III, Grose J. Development of temporal resolution in children as measured by the temporal modulation transfer function. *Journal of the Acoustic Society of America* 1994; 96 (1): 150-154.
27. Helenius P, Uutela K, Hari R. Auditory stream segregation in dyslexic adults. *Brain* 1999; 122: 907-913.
28. Houtgast T, Steeneken H. A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria. *Journal of the Acoustic Society of America* 1985;77 (3): 1069-1077.
29. Joris P, Schreiner E, Rees A. Neural Processing of Amplitude-Modulated Sounds. *Physiol Rev* 2004; 84: 541-577.
30. Krishna S, Semple M. Auditory temporal processing: responses to amplitude-modulated tones in the inferior colliculus. *Journal of Neurophysiology* 2000; 84: 255-273.
31. Kujala T, Lovio R, Lepistö T, Laasonen M, Näätänen Evaluation of multi-attribute auditory discrimination in dyslexia with the mismatch negativity. *Clin Neurophysiol* 2006; 117: 885-893.
32. Lee J. Amplitude modulation rate discrimination with sinusoidal carriers. *Journal of the Acoustic Society of America* 1994; 96 (4): 2140-2147.
33. Lorenzi C, Dummont A, Füllgrabe C. Use of temporal envelope cues by children with developmental dyslexia. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 2000; 43: 1367-1379.
34. Mennel P, McAnally K, Stein J. Psychophysical sensitivity and physiological response to amplitude modulation in adult dyslexic listeners. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 1999; 42: 797-803.
35. Moore B, Peters R, Glasberg B. Detection of temporal gaps in sinusoids: Effects of frequency and level. *Journal of the Acoustic Society of America* 1993; 93 (3): 1563-1570.
36. Muneaux M, Ziegler JC, Truc C, Thomson J, Goswami U. Deficits in beat perception and dyslexia: evidence from French. *Neuroreport* 2004;15(8):1255-9.
37. Pakarinen S, Takegata R, Rinne T, Houttilainen M, Näätänen R. Measurement of extensive auditory discrimination profiles using the

- mismatch negativity (MMN) of the auditory event-related potential (ERP). *Clinical Neurophysiology* 2007; 118:177-185.
38. Peretz I, Coltheart M. Modularity of music processing. *Nature Neuroscience* 2003; 6 (7): 688-691.
 39. Purcell D, John S, Schneider B, Picton T. Human temporal auditory acuity as assessed by envelope following responses. *Journal of the Acoustic Society of America* 2004;116 (6): 3581-3593.
 40. Ramus F. Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Curr Opin Neurobiol* 2003; 13: 212-218
 41. Rocheron I, Lorenzi C, Fullgrabe C, Dumont A. Temporal envelope perception in dyslexic children. *Neuroreport* 2002 Sep 16;13(13):1683-7.
 42. Santos A, Joly-Pottuz B, Moreno S, Habib M, Besson M. Behavioural and event-related potentials evidence for pitch discrimination deficits in dyslexic children: improvement after intensive phonic intervention. *Neuropsychologia* 2007 Mar 14; 45(5):1080-90.
 43. Schneider B, Hamstra S. Gap detection thresholds as a function of tonal duration for younger and older listeners. *Journal of the Acoustic Society of America* 1999; 106 (1): 371-380.
 44. Schuele M, Boudreau D. Phonological awareness intervention: beyond the basics. *Language, Speech and Hearing Services in Schools* 2008. 39: 3-20.
 45. Schulte-Körne G, Diemel W, Bartling J, Remschmidt H. Auditory processing and dyslexia: evidence for a specific speech processing deficit. *Neuroreport* 1998; 9: 337-340.
 46. Schulte-Körne G, Bartling J, Diemel W. Attenuated hemispheric lateralization in dyslexia: evidence of a visual processing deficit. *Neuroreport* 1999; 10: 3697-3701.
 47. Shannon R, Zeng F, Kamath V, Wygonski J, Ekelid M. Speech recognition with primarily temporal cues. *Science* 1995. 270: 303-304.
 48. Silva P., Williams S., McGee R. A longitudinal study of children with developmental language delay at age three: later intelligence, reading and behavioral problems. *Dev Med Child Neurol* 1987; 29: 630-40.
 49. Talcott J, Witton C, McClean M, Hansen P, Rees A, Green G, Stein J. Can sensitivity to auditory frequency modulation predict children's phonological and reading skills?. *Neuroreport* 1999; 10(10): 2045-2050.

50. Tallal P, Piercy M. Developmental aphasia: impaired rate of non-verbal processing as a function of sensory modality. *Neuropsychologia* 1973; 11: 389- 398.
51. Tallal P, Piercy M. Developmental aphasia: rate of auditory processing and selective impairment of consonant perception. *Neuropsychologia* 1974; 12: 83- 93.
52. Tallal P, Piercy M. Developmental aphasia: the perception of brief vowels and extended stop consonants. *Neuropsychologia* 1975; 13: 69- 74.
53. Tallal P. An investigation of rapid auditory processing in normal and disordered language development. *Journal of Speech and Hearing Research* 1976; 3: 561-571.
54. Tallal, P. Auditory temporal perception, phonics and reading disabilities in children. *Brain and Language* 1980; 9:182-198.
55. Torgesen J, Wagner R, Rashotte C. Longitudinal studies of phonological processing and reading. *Journal of Learning Disabilities* 1994; 27: 276-286.
56. Trehub S. The developmental origins of musicality. *Nature Neuroscience* 2003; 6 (7): 669- 674.
57. Van Tasell D, Soli S, Kirby V, Widin G. Speech waveform envelope cues for consonant recognition. *Journal of the Acoustic Society of America* 1987; 82: 1152-1161.
58. Viemester, N. Temporal modulation transfer functions based upon modulation thresholds. *Journal of the Acoustic Society of America* 1979; 97: 2568-2576.
59. Wakefield G, Viemester N. Discrimination of modulation depth of sinusoidal amplitude modulation (SAM) noise. *Journal of the Acoustic Society of America* 1990; 88 (3): 1367-1373.
60. Zatorre R. Functional specialization of human auditory cortex for musical processing (editorial). *Brain* 1998; 121 (Pt 10):1817.
61. Zatorre R, Belin P. Spectral and Temporal Processing in Human Auditory Cortex. *Cerebral Cortex* 2001; 946-953.

BIBLIOGRAFÍA

1. Berthoud-Papandropolou I. "An Experimental Study of Children's Ideas about Language" en Sinclair A. et al. *The Child's Conception of Language*. New York: Springer-Verlag; 1978.
2. Chermak G, Musiek F, Higuchi C. *Central Auditory Processing Disorders: New Perspectives*. Albany: Delmar Singular Publishing Group; 1997.
3. Hall J III. *New Handbook of Auditory Evoked Responses*. Boston: Pearson, Allyn and Bacon; 2007.
4. Jakobson, Roman. *El marco del lenguaje*. México: Fondo de Cultura Económica; 1988,
5. Matute E, Roselli M, Ardila A, Ostrosky-Solís P. *Evaluación Neuropsicológica Infantil*. México: Manual Moderno; 2007.
6. Morrison, James. *DSM-IV. Guía para el diagnóstico clínico*. México: Manual Moderno; 2008.
7. Musiek F, Baran J. *The Auditory System: Anatomy, Physiology and Clinical Correlates*. Boston: Pearson Education; 2007.
8. Rapin, Isabelle. *Disfunción cerebral en la infancia. Neurología, cognición, lenguaje y conducta*. Barcelona: Editorial Martínez Roca; 1987.
9. Virginia Department of Education (VDE). *Virginia Early Intervention Reading Initiative: Teacher Resource Supplement*. US Dept. of Education. Richmond; 1997.
10. Wechsler, David. *Escala de inteligencia para el nivel escolar, revisada (WISC-R Español)*. México: Manual Moderno; 2000.
11. Yost W. *Fundamentals of Hearing: An Introduction*. 5th edition. London: Academic Press; 2007.

FUENTES ELECTRÓNICAS

1. International Standardization Organization (ISO) 2008.

URL: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/ Consultado: 28 de julio de 2008

2. American National Standards Institute (ANSI) 2008.

URL: <http://www.ansi.org> Consultado: 28 de julio de 2008

APÉNDICE 1

HOJA DE REGISTRO E INTERROGATORIO DE ANTECEDENTES PARA LOS PADRES DE LOS NIÑOS DEL GRUPO DE ESTUDIO

Nombre: _____

Sexo: F M Fecha de nacimiento: _____ Teléfono: _____

Nombre de los padres: _____

Edad al inicio de las pruebas: _____ años _____ meses

Diagnóstico: _____

Fecha de inicio de terapia: _____ Terapeuta: _____

Cubículo: _____ Horario: Día _____ Hora: _____

Antecedentes familiares de trastornos de la lectoescritura o del lenguaje:

Antecedentes personales de trastornos neurológicos o paidopsiquiátricos:

(Epilepsia, hipoxia neonatal, parálisis cerebral, trastornos del desarrollo del espectro autista, trastorno por déficit de atención o hiperactividad, otra patología neuropsiquiátrica)

Agudeza visual: Normal Normal con lentes Inferior, con o sin lentes

Escolaridad: _____ Año Escuela: Oficial Particular Recursó grados: No Sí

Coefficiente intelectual: Verbal _____ Ejecutivo _____ Total _____

APÉNDICE 2

HOJA DE REGISTRO E INTERROGATORIO DE ANTECEDENTES PARA LOS PADRES DE LOS NIÑOS DEL GRUPO DE CONTROL

Nombre: _____

Sexo: F M Fecha de nacimiento: _____ Teléfono: _____

Nombre de los padres: _____

Edad al inicio de las pruebas: _____ años _____ meses Año escolar actual: _____

Grupo: _____ Profesor (a): _____

¿Refiere el profesor alteraciones de la lectura o la escritura?: _____

Antecedentes familiares de trastornos de la lectoescritura o del lenguaje:

Antecedentes personales de trastornos neurológicos o paidopsiquiátricos:

(Epilepsia, hipoxia neonatal, parálisis cerebral, trastornos del desarrollo del espectro autista, trastorno por déficit de atención o hiperactividad, otra patología neuropsiquiátrica)

Agudeza visual: Normal Normal con lentes Inferior, con o sin lentes

Coefficiente intelectual: Verbal _____ Ejecutivo _____ Total _____

APÉNDICE 3

EVALUACIÓN DE LA CONCIENCIA FONOLÓGICA Y HABILIDADES METALINGÜÍSTICAS

Síntesis fonémica

Suspender después de tres errores consecutivos

Fonemas	Respuesta	Puntaje	Fonemas	Respuesta	Puntaje
/s/a/l/		1 0	/t/r/a/b/a/j/o/		1 0
/l/e/ó/n/		1 0	/f/e/s/t/i/v/a/l/		1 0
/f/u/e/n/t/e/		1 0	/m/a/r/i/p/o/s/a/		1 0
/m/a/l/e/t/a/		1 0	/c/o/n/g/r/e/ga/c/i/ó/n/		1 0

Total (8): _____

Conteo de sonidos

Tomar tiempo, 10 segundos por palabra
Suspender después de tres errores consecutivos

	Respuesta	Puntaje		Respuesta	Puntaje
sol (3)		1 0	brinco (6)		1 0
mesa (4)		1 0	triste (6)		1 0
canto (5)		1 0	corazón (7)		1 0
paleta (6)		1 0	estación (8)		1 0

Total (8): _____

Deletreo

Tomar tiempo, 10 segundos por palabra
Suspender después de tres errores consecutivos

	Respuesta	Puntaje		Respuesta	Puntaje
mar		1 0	zapato		1 0
flor		1 0	guitarra		1 0
mano		1 0	triciclo		1 0
coche		1 0	alcohol		1 0

Total (8): _____

Conteo de palabras

Tomar tiempo, 10 segundos por palabra
Suspender después de tres errores consecutivos

	Respuesta	Puntaje
Casa verde (2)		1 0
Olga estudia matemáticas (3)		1 0
Guillermo desayuna huevos fritos (4)		1 0
Mi pelota está muy grande (5)		1 0
El cazador persigue al zorro negro (6)		1 0
El elefante del circo pasea a los niños (8)		1 0
Bruno y Jorge recogieron cerezas en el bosque de China (10)		1 0
No me entregaron el paquete a tiempo para la reunión (10)		1 0

Total (8): _____

Fluidez semántica

Tomar tiempo, suspender después de 1 minuto

Frutas

1.	6.	11.	16.	21.
2.	7.	12.	17.	22.
3.	8.	13.	18.	23.
4.	9.	14.	19.	24.
5.	10.	15.	20.	25.

Total: _____ Perseveraciones: _____ Intrusiones: _____

Animales

1.	6.	11.	16.	21.
2.	7.	12.	17.	22.
3.	8.	13.	18.	23.
4.	9.	14.	19.	24.
5.	10.	15.	20.	25.

Total: _____ Perseveraciones: _____ Intrusiones: _____

Fluidez fonémica

Tomar tiempo, suspender después de 1 minuto

Palabras que empiecen con /m/

1.	6.	11.	16.	21.
2.	7.	12.	17.	22.
3.	8.	13.	18.	23.
4.	9.	14.	19.	24.
5.	10.	15.	20.	25.

Total: _____ Perseveraciones: _____ Intrusiones: _____

Lectura de no palabras

Suspender después de 3 errores consecutivos

	Respuesta	Puntaje		Respuesta	Puntaje
bul		1 0	sileta		1 0
troz		1 0	fampina		1 0
leto		1 0	epolítamo		1 0
crieso		1 0	craseplántico		1 0

Total (8) _____

Dictado de sílabas

Suspender después de tres errores consecutivos

	Puntaje		Puntaje
Li	1 0	Prens	1 0
Bru	1 0	Blin	1 0
Fla	1 0	Sion	1 0
Gun	1 0	Troi	1 0

Total (8): _____

Dictado de no palabras

Suspender después de tres errores consecutivos

	Puntaje		Puntaje
Mel	1 0	Quifo	1 0
Gron	1 0	Crantía	1 0
Pieno	1 0	Sinlarón	1 0
Banito	1 0	Llosiro	1 0

Total (8): _____

APÉNDICE 5



INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN

México D.F., a ____ de _____ de 2008

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Por medio de la presente autorizo que mi hijo(a) _____

_____ participe en el estudio titulado: *“Correlación entre la conciencia fonológica y la Función de Transferencia Temporal de la Modulación en niños sanos y con trastornos de la lectoescritura”* presentado ante la Dirección de Enseñanza e Investigación del INR. El objetivo del estudio es determinar si las deficiencias finas de la audición en los niños se relacionan con los trastornos de la lectura y la escritura.

Se me ha explicado que la participación de mi hijo(a) consistirá en que se le realice una prueba de lectoescritura, una evaluación psicológica y una prueba de audición especializada. Es de mi conocimiento que estos estudios no son invasivos ni causan efectos secundarios, que no se le administrarán medicamentos ni se le realizará intervención física alguna.

Entiendo que conservo el derecho de retirar a mi hijo(a) del estudio en cualquier momento sin que ello afecte la atención médica que recibimos o podamos llegar a recibir en este Instituto.

El Investigador Responsable me ha garantizado que los datos personales que he facilitado serán manejados de forma confidencial y que no se revelará la identidad de mi hijo(a) en el material que derive de esta investigación.

Nombre y firma del tutor o representante legal

Nombre, firma y Cédula Profesional del Investigador Responsable

Dra. Aline Berenice Herrera Rangel Ced. Prof. 4132815
Médico Residente de Audiología, Otoneurología y Foniatría

Nombre y Firma de los Testigos

APÉNDICE 6

LA UTILIDAD DE LAS FUNCIONES LOGARÍTMICAS EN LA DESCRIPCIÓN DE LA INTENSIDAD SONORA Y SU MODULACIÓN

El amplio rango de la intensidad sonora perceptible ha podido comprimirse para su manejo y estudio por medio de las funciones logarítmicas, a partir de las cuales surgió como unidad el decibel (dB). Para explicar la modulación de amplitud, es pertinente revisar algunos principios de las funciones logarítmicas.

Un logaritmo no es sino un exponente al cual debe elevarse el número 10 para obtener otra cantidad, es decir:

$$\text{Si } 10^3 = 1000, \text{ entonces } \log_{10} 1000 = 3 \text{ (o simplemente } \log 1000 = 3)$$

Recordaremos que cualquier número entre 0 y 1 puede expresarse como una fracción con denominador 10, por ejemplo:

$$0.1 = 1/10, \text{ o bien, } 0.1 = 10^{-1}$$

Por tanto podemos afirmar:

$$\log 0.1 = -1$$

Lo anterior ejemplifica una regla de los exponentes aplicada a las funciones logarítmicas, que es:

Si un número es fraccionario, su logaritmo será negativo.

Aplicado a la función que describe la modulación de la amplitud, observaremos que m , al tratarse de una proporción de la unidad (un porcentaje), sólo puede tener valores entre 0 y 1, es decir, fraccionarios. La resolución de su ecuación en decibeles, $20 \log m$, necesariamente resultará en valores negativos.

APÉNDICE 7

CÓDIGO DEL PROGRAMA DE FTTM EN MATLAB

```
function y=gen_estim(fmod, m_db),

% función que genera un estímulo con frecuencia de modulación f
randn('state',0);

f=[4 16 64 256 1024];

tin=25e-3;%tiempo de subida
fs=44100;
ts=1/fs;
d=500e-3;
dat1=d*fs;

f=[4 16 64 256 1024];
peri=1./f;
ps=fs/2;
no_peri=floor(ps./f);
fnu=ps./no_peri;
perinu=1./fnu;
L=floor(fs./(perinu*fs));
dat=L.*no_peri;
t0=(0:ps-1)*ts; % medio segundo
t1=(0:dat(1)-1)*ts;
t2=(0:dat(2)-1)*ts;
t3=(0:dat(3)-1)*ts;
t4=(0:dat(4)-1)*ts;
t5=(0:dat(5)-1)*ts;

ruido1= rand(size(t1));
ruido2= rand(size(t2));
ruido3= rand(size(t3));
ruido4= rand(size(t4));
ruido5= rand(size(t5));

prop=tin/d;% flancos iguales a 25 milisegundos

vent1=tukeywin(dat(1),prop);
vent2=tukeywin(dat(2),prop);
vent3=tukeywin(dat(3),prop);
vent4=tukeywin(dat(4),prop);
vent5=tukeywin(dat(5),prop);

ruido_ven1=ruido1.*vent1';
ruido_ven2=ruido2.*vent2';
ruido_ven3=ruido3.*vent3';
ruido_ven4=ruido4.*vent4';
ruido_ven5=ruido5.*vent5';

%%% se genera señal modulada %%%

m=10.^(m_db/20);
c=(1+(m^2)/2)^(-0.5);%termino de compensación
y1=(1+ m*cos(2*pi*fnu(1)*t1)).*ruido_ven1*(c);
```

```

y2=(1+ m*cos(2*pi*fnu(2)*t2)).*ruido_ven2*(c);
y3=(1+ m*cos(2*pi*fnu(3)*t3)).*ruido_ven3*(c);
y4=(1+ m*cos(2*pi*fnu(4)*t4)).*ruido_ven4*(c);
y5=(1+ m*cos(2*pi*fnu(5)*t5)).*ruido_ven5*(c);

%%% Se crea la se0al de est0mulo %%%
inter_esti=zeros(size(t0));

stim1=[ruido_ven1, inter_esti, y1];
stim2=[ruido_ven2, inter_esti, y2];
stim3=[ruido_ven3, inter_esti, y3];
stim4=[ruido_ven4, inter_esti, y4];
stim5=[ruido_ven5, inter_esti, y5];

if fmod==4,
    y=stim1';
    Y=[y, Y];
return
end

if fmod==16,
    y=stim2';
    Y=[y, Y];
return
end

if fmod==64,
    y=stim3';
    Y=[y, Y];
return
end

if fmod==256,
    y=stim4';
    Y=[y, Y];
return
end
    if fmod==1024,
        y=stim5';
        Y=[y, Y];
return
end

%%% parametros de la prueba fijos %%%

dur=500e-3;% duraci0n de los est0mulos y del interestimulo
tin=25e-3;% tiempo de subida
tfin=25e-3;% tiempo de bajada
fs=44100;% frecuencia ede muestreo

%%% se genera se0al de ruido ventaneado %%%

randn('state',0)
ts=1/fs;
t=0:ts:dur-ts;
ruido= rand(size(t));% ruido con distribucion uniforme

L=length(t);

prop=tin/dur;% flancos iguales a 25 milisegundos

```

```

vent=tukeywin(L,prop);
ruido_ven=ruido.*vent';

%%%% se genera seÑal modulada %%%%

m=10.^(m_db/20);
c=(1+(m^2)/2)^(-0.5);%termino de compensaciÛn
y=(1+ m*cos(2*pi*fm*t)).*ruido_ven*(c);

%%%% Se crea la seÑal de estÌmulo %%%%%%%%%

inter_esti=zeros(size(t));
stim=[ruido_ven, inter_esti, y];

if modo ==2,
z=[stim', stim'];
else
z=stim';
end

function m_db=incrementa(m_db),
% funcion que incrementa el valor
% del indice de modulaciÛn en db
m_db=m_db+2;

function m_db=decrementa(m_db),
% funcion que decrementa el valor
% del indice de modulaciÛn en db
m_db=m_db-2;

function grafica_estimulo(y),
[filas, columnas]=size(y);
if columnas==2,
y(:,2)=[];
end
z=y;
ts=1/44100;
t=(0:filas-1)*ts;
plot(t,z)
xlabel('Tiempo en segundos')
grid

```