

Jorge A. Gurlekian¹
Erica Babnik²
Humberto M. Torres¹

Desarrollo de una prueba de inteligibilidad de habla en ambientes ruidosos para niños en edad escolar

¹Laboratorio de Investigaciones Sensoriales (LIS). UBA. CONICET. Hospital de Clínicas, Neurociencias 9 Piso, Sala 2. Ciudad de Buenos Aires (1120), jag@fmed.uba.ar.

²ACCION: Asociación Civil Comunitaria Independiente para la Opción desde la Niñez. Arenales 1156- Piso 1º- C. Ciudad de Buenos Aires(C1061AAJ), osc_accion@yahoo.com

Resumen

El objetivo de este trabajo es el diseño y la aplicación de una prueba rápida de inteligibilidad del habla en ambientes ruidosos. La prueba está diseñada para niños de 6 a 12 años que asisten a escuelas o instituciones donde no se dispone de equipos de audiometría e instalaciones preparadas para controlar el ruido-ambiente. Se evaluará la capacidad de identificar palabras –mediante auriculares– pronunciadas en el contexto de oraciones en condiciones controladas respecto del ruido. La prueba se presenta al nivel que requiere cada niño para obtener un reconocimiento del 100 % de las palabras en silencio. Luego, las oraciones y el ruido enmascarador se presentan de forma simultánea en el mismo oído a relaciones señal a ruido que van desde 20 a -5 dB. El ruido es el denominado ruido modulado con forma de habla (Modulated Speech Shaped Noise, MSSN), que ha demostrado ser muy efectivo como enmascarador. Los resultados para niños con audición normal indican 1) el nivel de presión sonora para el reconocimiento del 100 % de las palabras en silencio, medido en el oído artificial es en promedio de 33,9 dB (desviación: 0,9) en el laboratorio y de 36,77 dB (desviación:1,8) en la escuela, y 2) el 50 % de identificación de la palabra se alcanza a la relación señal a ruido de 0 dB tanto en el laboratorio como en la escuela. Se puede concluir que la prueba permitirá evaluaciones rápidas de la inteligibilidad en lugares con diferente nivel de ruido-ambiente y sin disponibilidad de recursos técnicos.

Palabras clave: Inteligibilidad, niños, prueba rápida, relación señal-ruido.

Development of a speech intelligibility test in noisy conditions for children at school age

A quick intelligibility test for noisy environments is presented and evaluated in this article. It is designed for children of 6 to 12 years old at schools or institutions where audiometric equipments are not easily available. Word identification capacity is evaluated in sentences through headphones under noise controlled conditions. The test is presented at the level required for each child to recognize 100 % of the words in silence. The sentences and masking noise are presented simultaneously to the same ear at different signal to noise ratios, from 20 to -5 dB. The modulated speech shaped noise was used, which is considered highly effective as masker. Results for normal hearing children indicate that 1) the sound pressure level for 100 % word recognition in isolation, has an average of 55 dB and 60 dB in laboratory and school conditions respectively, and 2) 50 % word identification is reached at the 0 db signal to noise ratio, both in the laboratory and the school. It is concluded that this test will allow quick intelligibility evaluations in places with different level of environmental noise and absence of technical resources.

Key words: Intelligibility, children at school, quick test, signal to noise ratio.

Introducción

La capacidad de identificar el habla disminuye considerablemente en condiciones de ruido-ambiente y más aún cuando el oyente tiene leves pérdidas en su audición. La pérdida de inteligibilidad del habla en los niños de 6 a 12 años –período de

Correspondencia:
Jorge A. Gurlekian
Paraguay 2386 2º Piso B
Buenos Aires (1120)

Te: 54-11-59509024
jag@fmed.uba.ar
jgurlekian@hospitaldeclinicas.uba.ar

las operaciones concretas— entorpece el proceso de aprendizaje, el desarrollo de la atención y la regulación de la conducta (González, 2001). En este trabajo, se plantea el diseño de una prueba que pueda ser aplicada en el ámbito escolar.

Los antecedentes muestran un número importante de pruebas desarrolladas para ser aplicadas en la clínica audiológica. Como resumen sintético se puede mencionar que la evaluación de la inteligibilidad del habla ha sido estudiada de forma indirecta a partir la audiometría de tonos puros (Smooenberg, 1992; Picard, Banville, Barbaroise y Manolache 1999), y con pruebas directas que estudian la pérdida de inteligibilidad en condiciones de ruido como el Connected Speech test (CST) (Cox, Alexander y Gilmore 1987), y la prueba Speech Perception in Noise (SPIN) (Kalikow, Stevens y Elliot 1977). Una derivación de la prueba SPIN utiliza la información de contexto y el conocimiento lingüístico (Elliot, 1995). Una prueba que utiliza palabras en oraciones es el Hearing in Noise Test (HINT) (Nilsson, Sali y Sullivan, 1994), y su derivado Realistic Hearing in Noise Test Environment (R-HINT-E) (Trainor, Sonnadara, Wiklund, Bandy, Gupta, Becker y cols., 2004). Otras pruebas empleadas son el Northwestern University Auditory Test n.º 6 (NU-6) (Tillman y Carhart, 1966), el Quick speech in noise test (QuickSIN) (QuickSin, 2001) y el words in noise test (WIN).

Importancia de la prueba de inteligibilidad en ruido

Las dos divisiones —modo directo e indirecto de estudiar la inteligibilidad— se corresponden con los dos componentes básicos de las pérdidas auditivas; uno es la falta de audibilidad equivalente a la atenuación de la intensidad del estímulo sonoro. El otro componente se refiere a las deficiencias en la claridad debida a la distorsión. La falta de audibilidad es una pérdida de sensibilidad auditiva y la distorsión se refleja en la incapacidad de entender el habla en condiciones de ruido-ambiente y se la denomina también pérdida auditiva de señal a ruido.

La predicción del grado de inteligibilidad a partir de los umbrales de tonos puros sólo puede realizarse cuando el componente de atenuación lineal es el único presente en la pérdida auditiva. Para ello, se utiliza el Índice de Articulación que permite calcular el grado de inteligibilidad a partir de la audiometría de tonos puros (Fletcher y Galt, 1950; ANSI,

1997). Esta medición también puede realizarse con pruebas que utilizan palabras sin ruido ambiental apreciable. Sin embargo, cuando aparece el componente de distorsión, especialmente en presencia de ruido-ambiente y sin importar el nivel de intensidad, esta transformación ya no es válida.

Para medir la distorsión se evalúa el habla en condiciones de ruido midiendo la relación señal a ruido a la que se obtiene el 50 % de reconocimiento (Plomp, 1978; Killion, Niguette, Gudmundsen, Revit y Banerjee, 2004).

Wilson y McArdle (2005) demostraron a partir de un trabajo anterior (McArdle, Wilson y Burks, 2005) que un reconocimiento adecuado de las palabras en silencio no se corresponde con un buen reconocimiento en condiciones de ruido. Estos autores concluyen en la necesidad de utilizar pruebas de inteligibilidad de habla en ruido como práctica audiológica para cuantificar una de las quejas más comunes de los pacientes, que es la de no entender las palabras en condiciones de ruido-ambiente. También para planear una estrategia adecuada de tratamiento y para dar un pronóstico más certero, aconsejando respecto a las expectativas que puede tener el paciente al usar distintas prótesis auditivas (Romano, 2005).

¿Palabras u oraciones?

No existe un criterio definitivo. Algunos autores consideran que la unidad perceptual por excelencia es la palabra, y otros que la situación real de comunicación se refleja en el habla continua. Esta prueba busca evaluar la inteligibilidad de palabras en el contexto de oraciones y en condiciones de ruido, por lo que se intenta aproximar la evaluación a las condiciones más reales de la comunicación (Cox y cols. 1987; Hirsh, 1952; Giolas y Epstein, 1963). Por otra parte, el uso de sílabas y monosílabos no permiten predecir cuál será el comportamiento frente al habla corriente. Al ser aplicada en niños no existe la limitación de la memoria a corto plazo que puede fallar en los adultos mayores (Craik, 1994).

Algunos trabajos previos muestran la ventaja relativa a reconocer palabras en oraciones sobre todo por la información de contexto que existe en las oraciones. Por ejemplo, Egan (1948) muestra que la intensidad necesaria para obtener el 50 % de reconocimiento en palabras aisladas produce el 80 % de reconocimiento en oraciones. Este es un ejemplo

de la suplencia mental a la que recurre el oyente para identificar palabras en oraciones con la ayuda del contexto. Frente a las dificultades en la audición, la suplencia se puede manifestar en la selección léxica; en la sintáctica y en la composición de la idea transmitida de forma oral. Este autor también muestra que el 50 % del reconocimiento obtenido en condiciones de ruido se obtiene con un nivel de 4 dB de relación señal a ruido (RSR) en palabras aisladas y con un nivel de -2 dB de RSR en oraciones. Miller, Heise y Lichten (1951) y también O'Neill (1957), muestran una diferencia de 6 dB en el reconocimiento, a favor de las palabras en oraciones frente a las palabras aisladas. Estos resultados muestran claramente que la capacidad de predicción aumenta en el caso de las oraciones.

En definitiva, el reconocimiento de palabras aisladas y en oraciones, refleja una diferencia constante que nos permite establecer un rango de RSR para diferentes efectos de contexto en la oración. Este rango va desde la RSR adecuada para el 50 % de reconocimiento en oraciones hasta una RSR con 6 dB menos para palabras aisladas, es decir, una oración virtual con total ausencia de información contextual. Este rango de RSR será útil a la hora de evaluar el desempeño individual en las pruebas de reconocimiento.

¿A que nivel de intensidad debe hacerse la prueba de inteligibilidad?

Durante el diseño de la prueba se planteó esta pregunta: ¿debemos utilizar el nivel máximo de intensidad que puede utilizar el docente al hablar (80 dB)? o ¿el nivel medio (60 dB) de cualquier hablante normal debe ser variable (Nilsson y cols, 1994) manteniendo fijo el nivel de ruido?

Como regla general, a mayor intensidad aumenta la inteligibilidad. Pero este axioma tiene muchas excepciones, tanto en silencio como en condiciones de ruido ambiente. Para las pérdidas conductivas, esta afirmación es cierta, pero para pérdidas auditivas cocleares no se aprecia ningún efecto. Cuando se presentan palabras en silencio, en las pérdidas auditivas retrococleares, suele aparecer un efecto positivo con la intensidad pero luego este efecto se invierte. Un efecto más frecuente es la disminución en el reconocimiento cuando la señal es presentada a intensidades cada vez más altas (efecto de reclutamiento) con un

ruido de fondo a una misma RSR. En sujetos con pérdidas leves ($ATP^1 < 40$ dB) se ha encontrado una disminución del reconocimiento del 10 % a RSR: de 3 dB y del 30 % a RSR de -3 dB, al aumentar la intensidad global de 52 a 74 dB. Esta disminución del desempeño se debe en parte al efecto de enmascaramiento que abarca más frecuencias. Cuando los sujetos tienen pérdidas mayores ($AT > 40$ dB), el aumento de intensidad aumenta el reconocimiento. En este caso, se trata de una cuestión de audibilidad que compite con el efecto negativo de enmascaramiento. Cuando estos mismos sujetos tienen audífonos, el comportamiento siempre es inverso, a mayor intensidad de presentación menor reconocimiento.

En esta prueba decidimos utilizar la intensidad más baja que requiere cada oyente como su nivel umbral de reconocimiento (100 %) de palabra. Y este nivel permanecerá a lo largo de toda la prueba para las oraciones a evaluar. Esta intensidad asegura que el niño no recibirá intensidades que perjudiquen su audición y evitará los inconvenientes de fijar un valor insuficiente a la hora de evaluar niños hipoacúsicos.

Propuesta para una prueba de inteligibilidad en las escuelas

La primera prueba natural la realizan los padres del niño al hablarle y es posible que este «examen» sea superado sin inconvenientes tanto en el nivel de audibilidad —por la cercanía de las voces paternas— como el de identificación por el entrenamiento que ya posee el niño a los rasgos distintivos del habla de sus padres. Al escuchar otras voces la audibilidad y la identificación pueden cambiar radicalmente. La falta de audición severa es relativamente fácil de detectar por los padres, maestros y profesores atentos, pero en las hipoacusias leves y algunas moderadas no es así. Una forma de evaluar la pérdida de inteligibilidad es mediante la presencia de ruido enmascarador en sonidos de habla que poseen todos sus rasgos distintivos (Gurlekian, 2001). De este modo se puede establecer una norma que se basa en el estudio sistemático de la inteligibilidad en ambientes relativamente ruidosos, estableciendo un porcentaje de inteligibilidad promedio para una condición de relación señal a ruido dada.

¹Audiometría de tonos puros

Se entiende que la evaluación con una prueba de esta naturaleza tiene como principal misión detectar posibles alteraciones y realizar una derivación clínica del paciente a un centro asistencial donde se evalúe su audición mediante las pruebas convencionales como la audiometría de tonos puros y la logaudiometría en condiciones de ruido controlado. El análisis de las respuestas de la prueba de inteligibilidad puede alertar sobre otras alteraciones como las que se mencionan a continuación. Por ejemplo es difícil que el niño exprese el fenómeno de hiperacusia —definido como la molestia ante sonidos intensos— que trae como consecuencia la falta de inteligibilidad por la dificultad de atender en ambientes muy ruidosos. El fenómeno de reclutamiento ya mencionado —se refiere a la distorsión por la intensidad— en donde a mayor intensidad menor inteligibilidad. Convencionalmente estas pruebas son difíciles de llevar a cabo en los niños pequeños y, por esa razón, la prueba de inteligibilidad en la escuela puede facilitar la detección de estos casos e iniciar la derivación del niño.

Debe destacarse también la hipoacusia unilateral que pasa desapercibida en la mayoría de los casos. Estos niños desarrollan el lenguaje si el otro oído presenta audición normal, pero es en la escuela donde comienzan a ser críticos los problemas por la falta de audición estereofónica necesarios para la ubicación y localización de la fuente sonora. Cuando la relación señal a ruido es adversa, se observan estos inconvenientes con mayor frecuencia. Esta alteración podrá verificarse dado que la prueba de inteligibilidad evalúa un oído por vez.

Respecto a la prueba en sí, se utilizan palabras simples en construcciones sencillas. Es decir, se pretende que no evalúe la capacidad lingüística relativa al conocimiento semántico de las palabras, ni dependa de la estructura sintáctica en donde estas son presentadas. Se intenta determinar la capacidad auditiva para la detección e identificación de cada palabra en la oración para cada oído por separado. Para ello se controlará el grado de dificultad a partir del aumento del nivel de amplitud de ruido respecto del nivel de las emisiones a evaluar. Una vez detectado el nivel de audición de las oraciones para cada sujeto en condiciones de presentación sin ruido, el nivel de la oración se mantendrá fijo y se aumentará progresivamente el nivel de ruido, disminuyendo la relación señal a ruido en pasos de 5 dB a partir de 20 dB de RSR cambiando el grupo de oraciones foné-

ticamente balanceadas para cada cambio de RSR.

La calibración del conjunto reproductor-auriculares mediante un oído artificial elimina la necesidad de utilizar un audiómetro, lo que facilita su aplicación como prueba de campo de detección rápida en las escuelas o centros clínicos de la seguridad social o de medicina privada.

El empleo de auriculares y de RSR controladas y la adaptación del nivel de reproducción al umbral de reconocimiento permite su aplicación en ambientes no aislados acústicamente.

Finalmente, desde el punto de vista social-sanitario la prueba de inteligibilidad obligará a tomar conciencia de los recaudos respecto a la contaminación sonora y, principalmente, de la necesidad de controlar el nivel de ruido dentro del aula.

Esta presentación incluye las siguientes secciones: información sobre el equipamiento necesario, la preparación de los textos de la prueba, la grabación de las oraciones y la forma de preparar el ruido enmascarador, los resultados obtenidos en el laboratorio, en una escuela y en un servicio de audiología y las conclusiones.

Material y métodos

Equipamiento utilizado para el diseño y para la toma de pruebas en laboratorio

Para el diseño de la prueba se utiliza el siguiente equipamiento:

- Ordenador personal con placa externa de grabación y reproducción de alta fidelidad marca M-AUDIO.
- Micrófono de respuesta en frecuencia conocida marca AKG.
- Auriculares de respuesta en frecuencia conocida marca AKG.
- Decibelímetro: Sistema de medición del nivel de presión sonora marca Bruel and Kjaer.
- Micrófono de una pulgada, acoplador de 6 cm², accesorios de medición de auriculares y audífonos que constituyen el conjunto denominado «oído artificial».
- Cámara acústica de baja reverberación con niveles de ruido medidos en 25 dB en campo libre y 20 dB en auriculares.
- Audiómetro Kamplex de dos canales.

- Reproductor MP4 de archivos de audio en formato Windows Media (WMV) marca Exim Walkman con visualización de carpetas y nivel de reproducción numérico.
- *Software* para el etiquetado fonético automático de oraciones (Gurlekian y cols., 2001) en caracteres SAMPA «Speech Assesments Methods: Phonetic Alphabet» y la agrupación automática en conjuntos de oraciones fonéticamente balanceados.

Equipamiento para la aplicación de la prueba de campo

- Cinco reproductores MP4 (1GB) de archivos en formato WAV marca EXIM con visualización de carpetas y nivel de reproducción numérico.
- Auriculares marca AKG con respuesta en frecuencia conocida con rango 20-20.000 Hz, sin control de volumen y con cubre oreja.
Planillas de evaluación.

Preparación de los textos

Las palabras utilizadas fueron tomadas de los manuales de primer grado. Las oraciones se construyeron de forma que no superasen 7-8 palabras, con una estructura sintáctica sencilla del tipo sujeto-verbo-objeto, en donde el sujeto y objeto presentan expansiones simples. Ver listado completo en el anexo 2.

Transcripción fonética y preparación de listas fonéticamente completas

A partir de un número considerable de oraciones, se obtuvieron grupos de oraciones fonéticamente balanceadas de acuerdo con la descripción de los fonemas y alófonos más frecuentemente usados. Primero, se empleó el programa de transcripción fonética automática de grafemas a símbolos SAMPA mencionado en equipamiento.

En segundo lugar, la agrupación en listas de oraciones fonéticamente balanceadas se implementó mediante un algoritmo de búsqueda automática (Wang, 1998).

Los símbolos en la transcripción, representan todas las realizaciones posibles para cada grupo regional de cada país.

Conjunto balanceado de cuatro oraciones

Se saludan desde lejos con varios pañuelos

Había un gato corriendo a un ratón

El colectivo sin gente tardó mucho en llegar

La familia vive en un mismo hogar

Transcripción

Se saluDan dehDe lexoh kon barjos paJwelos

ABia un gato koRjendo a wn raton

El kolektiBo sin Cente tarDo muHo en ZeGar

La familja BiBe en un mihmo oGar

Preparación de la prueba

Grabación de las oraciones

Las oraciones fueron leídas por una profesora y locutora profesional del Instituto Superior de Enseñanza Radiofónica (ISER) que realizó una lectura cuidada a velocidad normal (7-8 fonemas por segundo). La grabación se realizó con una cámara acústica con 20 dB de ruido ambiente y bajo nivel de reverberación a una frecuencia de muestreo de 48.000 Hz y un nivel de 16 bits.

Generación del ruido enmascarador

Las oraciones se enmascararon con un ruido modulado con forma de habla (Modulated Speech-Shaped Noise, MSSN), que ha resultado el más adecuado para la tarea de enmascaramiento (Bronkhorst, Dlomp, 1992; Douglas, Brungarta y Simpson, 2002). El método calcula las componentes espectrales —de largo término— en una gran cantidad de oraciones y genera un ruido con esos componentes del habla natural. En la figura 1 se observa el espectro de largo término «Long Term Average Speech Spectrum» (LTASS) para una oración, obtenida con el programa de análisis acústico Anagral (Gurlekian, 1997). Luego se modula la amplitud de ese ruido para cada oración, siguiendo al envolvente de amplitud de cada oración a enmascarar. Finalmente se establecen las RSR. Las relaciones RSR utilizadas fueron 20, 15, 10, 0 y -5 dB, creándose cuatro ora-

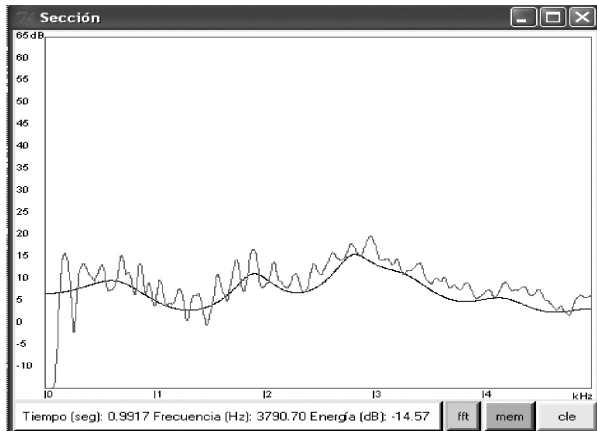


Figura 1

Espectro LTASS de la oración «Algunas familias son pequeñas y otras numerosas» obtenido mediante el sistema de análisis acústico Anagraf (Gurlekian, 1993).

ciones diferentes por cada RSR. En el anexo 1 se describe el algoritmo utilizado para generar las señales de ruido enmascarantes.

En la figura 2 puede observarse la forma de onda de la señal correspondiente a una frase natural y el ruido enmascarante obtenido por el método MSSN y la suma de las dos señales. Se observa que el ruido sigue el contorno de amplitud de la señal.

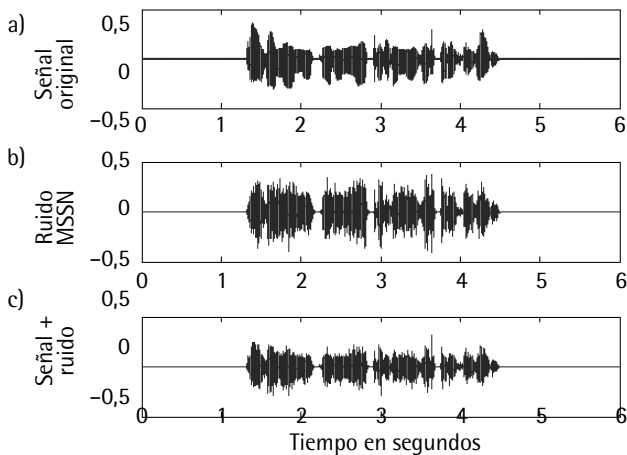


Figura 2

Formas de onda de la señal en: a) la correspondiente a la frase «Cada nene tiene muchos amigos para jugar»; en b) el ruido enmascarante obtenido por el método MSSN; y en c) la señal de prueba resultante a 0 dB de RSR. Se observa que el contorno de amplitud del ruido sigue al de la oración.

Resulstados

Evaluación

El porcentaje de reconocimiento se calculó a partir del número de oraciones reconocidas en cada nivel de RSR. Se considera que la oración no es reconocida cuando una o más palabras de contenido no se identifican correctamente. Esta forma de cálculo posee la ventaja de ser rápida y reflejará porcentajes de reconocimiento menores frente a la evaluación palabra por palabra.

La cantidad total de oraciones utilizadas fueron 48 formadas por 4 (que forman un grupo fonéticamente balanceado) x 6 niveles (20, 15, 10, 5, 0 y -5 dB) x 2 oídos (derecho e izquierdo).

Se crearon además oraciones sin enmascaramiento para determinar el mínimo nivel de intensidad que permite el reconocimiento del 100 % con el que se presentarán las oraciones en las distintas RSR para cada oyente. En el anexo 2 se presentan las 48 oraciones para las distintas RSR y ocho oraciones sin enmascaramiento, utilizadas para la determinación del umbral de reconocimiento en silencio.

Pruebas en laboratorio

Consistieron en la aplicación de la prueba de inteligibilidad en 15 niños de entre 6 y 12 años de Buenos Aires. Los resultados obtenidos se presentan en la figura 3. Los participantes fueron previamente evaluados con la audiometría de tonos puros por vía aérea y ósea para asegurar la audición normal en todos ellos.

Pruebas en silencio

La aplicación de esta prueba comenzó con la presentación de una oración a una intensidad suficientemente alta mediante el nivel de reproducción del MP4, para asegurar ser reconocida con comodidad y fue disminuyendo en pasos de 1,5 dB mediante el control de volumen del reproductor, en las sucesivas oraciones sin ruido enmascarador, hasta dejar de obtener el 100 % de reconocimiento. Para cada niño, se consignó el nivel de volumen más bajo del reproductor que permite el 100 % de reconocimiento. Cada niño requirió un nivel de intensidad mínimo

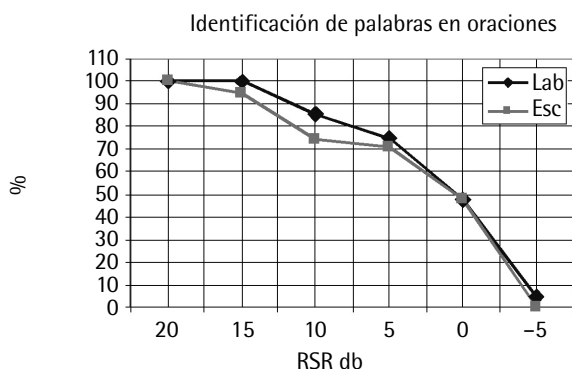


Figura 3 *Porcentaje de reconocimiento promediado para ambos oídos. Los resultados se obtuvieron para distintas RSR en el laboratorio y en la escuela.*

diferente que fue utilizado en las presentaciones con ruido. La medición del nivel de presión sonora para los niveles del reproductor que fueron utilizados fue realizada con el oído artificial y un acoplador de 6 cc. Esta medición presentó valores que van desde de 32 a 36 dB. La corrección Real Ear to Coupler Difference (RECD) (Bagatto, Moodie, Scollie, Seewald, Moodie y Pumford, 2005; Seewald, Moodie, Scollie y Bagatto, 2005; Scollie, Seewald, Cornelisse, Moodie, Bagatto y Laurangaray, 2005) por la diferencia entre el oído real y el acoplador puede estimarse en promedio en unos 13 dB, por lo que se estimó que la intensidad en dB promedio de reconocimiento para este grupo de niños va de 45 a 49 dB en nivel de presión sonora en el oído real que es un nivel bajo y no perjudicial aún para niños con distinto conducto auditivo externo.

Los niños que presentaron pérdidas $ATP^1 < 10$ dB –considerados con audición normal– respondieron correctamente a todas las palabras de la lista sin ruido cuando estas fueron presentadas a los niveles más altos. Aquellos con audición normal con $ATP < 0$ dB en todas las frecuencias respondieron correctamente en los niveles más bajos del reproductor. Esta asociación presupone una correlación entre las respuestas de la audiometría tonal y las respuestas a las palabras presentadas en silencio que se completará cuando se aplique la prueba a niños hipoacúsicos.

Pruebas con ruido

La aplicación de esta prueba comenzó con la presentación de una oración a la intensidad obtenida

en la prueba en silencio para ese niño y con un ruido enmascarador con 20 dB por debajo de este nivel de intensidad. Se completó este nivel de RSR con las otras tres oraciones del grupo fonéticamente completo. Luego, se continuó con la presentación de las cuatro oraciones para cada uno de los niveles de RSR restantes, tomando nota de las palabras de contenido no identificadas en cada oración y realizando la evaluación en cada nivel de RSR por oración correctamente identificada.

La totalidad de los niños respondió con un 100 % de reconocimiento para las RSR de 20 dB y 15 dB (v. fig. 3, en la condición de laboratorio). Para las RSR de 10dB aparecen los primeros errores, en promedio una oración de las cuatro presentadas tiene una o dos palabras de contenido no identificadas. Esta progresión de errores va en aumento hasta llegar a la RSR de -5dB donde hubo una sola oración correctamente identificada y particularmente por los niños con mejor audición en ambos oídos. Estas respuestas confirman que el rango de las RSR utilizadas es adecuado. El nivel del 50 de identificación se alcanza para la relación señal a ruido de 0 dB. A continuación se confirman estos umbrales en las pruebas de campo.

Pruebas de campo

El procedimiento utilizado fue el mismo que se utilizó en el laboratorio. Consistió en la aplicación de la prueba de inteligibilidad en 26 niños de entre 6 y 7 años en una escuela. Los resultados obtenidos se presentan en la figura 3 para su comparación con la prueba en laboratorio. Se comprobó que la prueba de inteligibilidad presenta un 50 % de identificación de oraciones para la relación señal a ruido de 0 dB. Es decir, en coincidencia con las pruebas de laboratorio. Este resultado indica la independencia en la determinación de los niveles de inteligibilidad en presencia de distintos niveles de ruido ambiente. Los niveles de intensidad para la identificación del 100 % en silencio, se midieron con el oído artificial y el acoplador de 6 cc y resultaron entre 34,5 y 42 dB que pueden estimarse como de 47,5 y 55 dB de nivel de presión sonora en el oído real.

Discusión

El nivel de audibilidad para alcanzar el umbral de reconocimiento del 100 % de palabras es mayor en la

escuela –probablemente debido al mayor ruido ambiente– respecto del obtenido en el laboratorio. El aumento de intensidad para el reconocimiento de las oraciones en la escuela sin ruido enmascarador ha sido en promedio de +3 dB respecto al requerido en el laboratorio. La intensidad promedio de reproducción de las oraciones en las pruebas de campo en silencio resultó ser de 36,77dB (49,77 dB NPS) con un desvío estándar de 1,8 dB. Para el análisis de los resultados, cuando el nivel de audibilidad requerido sea mayor al 50 % del observado para el grupo de referencia (alrededor de 55 dB), se recomienda a los padres la consulta al médico de cabecera o al especialista en ORL.

Sin embargo, las pruebas de identificación en ruido y en la escuela reflejan resultados similares a los obtenidos en el laboratorio (probablemente porque el ruido enmascarador toma mayor preponderancia que el ruido presente en la escuela, disminuyendo o anulando su efecto). Se confirma que el 50 % de identificaciones correctas se obtiene para la relación señal a ruido de 0 dB.

Para el análisis de los resultados se tomará como referencia el reconocimiento del 50 % de las palabras en oraciones con ruido. Este se considerará aceptable para las RSR menores o iguales a 5 dB. En aquellos casos que el nivel RSR requerido para la identificación del 50 % de las oraciones sea de 10 dB o más, se recomienda a los padres que realicen una consulta otorrinolaringológica.

Conclusiones

En este trabajo se diseñó una prueba de evaluación de la inteligibilidad de habla y se aplicó en la escuela. La aplicación estuvo a cargo de personas sólo entrenadas en el manejo del reproductor MP4. El nivel de reproducción de las oraciones fue ajustado para cada niño hasta lograr el 100 % de reconocimiento en silencio.

Para cada nivel de intensidad obtenido para cada niño se presentaron oraciones en presencia de distintos niveles de relación señal a ruido. Para los oyentes con audición normal, se obtuvo el 50 % de identificación de palabras para la relación de 0 dB. Es decir, para la misma intensidad de la señal y del ruido enmascarador.

Estos experimentos han mostrado que la prueba de inteligibilidad es aplicable en ambientes no controlados acústicamente como los que existen en una

escuela, dado que el ruido enmascarador controlado evita los efectos del ruido ambiente.

Para los profesionales vinculados al área se plantean las siguientes aplicaciones:

- Para los docentes de la escuela, tendrán disponible una herramienta objetiva para recomendar a los padres la conveniencia de realizar una consulta otorrinolaringológica. En muchas ocasiones, los alumnos acuden a psicopedagogos y psicólogos o simplemente no realizan ninguna consulta y continúan con un bajo rendimiento académico debido exclusivamente al déficit auditivo.
- Para los especialistas en trastornos del lenguaje, el análisis de los resultados individuales les permitirá concluir cuáles son las confusiones fonemáticas y con que frecuencia aparecen, y a analizar que aspectos de la suplencia mental (léxica, sintáctica o ideológica) son puestos en juego por el alumno cuando la información acústica le es insuficiente.
- Los especialistas en audición, podrán verificar la correspondencia entre los resultados obtenidos en las pruebas convencionales y los obtenidos con la prueba de audibilidad y de inteligibilidad en ruido. Esta comparación permitirá decidir la conveniencia de realizar derivaciones específicas para su tratamiento médico, ya sea para realizar otras pruebas más elaboradas como para tener un mejor pronóstico y adecuación de las ayudas protésicas para cada niño en particular.
- Para los especialistas técnicos: favorecer el desarrollo del niño mediante la tecnología disponible, consistente en dispositivos para la amplificación, la compresión de señales de entrada de manera de facilitar la discriminación tanto en ambientes silenciosos como ruidosos, el aumento de la relación señal a ruido mediante procesadores que distinguen el habla del ruido y el empleo de equipos de frecuencia modulada para la transmisión del oído anacúsico (sin audición) al otro oído con hipoacusia o normal.
- La creación de una prueba como la presentada, para otras variantes del español y otras lenguas romances, requiere:
 - El diseño de grupos de oraciones fonéticamente completas.
 - La preparación del ruido MSSN a partir de esas oraciones grabadas.
 - La preparación de los niveles señal a ruido.
 - La calibración del reproductor.

Agradecimientos

A la fonoaudióloga María Eugenia Pérez Ibáñez por su colaboración en la grabación de las oraciones y a la audióloga Diana Larnagaray por sus valiosos

aportes y comentarios. Este ~~de~~ trabajo ~~desarrollo~~ se realizó con el patrocinio de Programas y Proyectos Especiales de la SECYT de la Argentina.

El trabajo fue financiado por el Ministerio de Ciencia y Técnica. CONICET. Argentina

Anexo 1

Algoritmo utilizado para generar las señales enmascarantes de las distintas oraciones que se utilizaron para realizar la prueba

1. Calcular el Espectro de Fourier de largo plazo (Long Term Average Speech Spectrum, LTASS) promedio de todas las oraciones. Calcular el LTASS de cada una de las oraciones disponibles (v. fig. 1).
Obtener el LTASS promedio como el promedio de todos los espectros obtenidos en el paso anterior.
2. Para cada oración de prueba, generar una oración enmascarada por un MSSN, a la relación señal-ruido especificada.
Para cada oración de prueba.
Generar una señal de ruido a partir del LTASS y la forma de onda de la señal de prueba.
Generar una señal de ruido a partir del LTASS.
Generar un espectro de Fourier, utilizando como modulo el LTASS promedio y una fase aleatoria.
Generar una señal de ruido como la parte real de la antitransformada de Fourier del espectro LTASS obtenido.
Modular el ruido con la forma de onda de la señal de prueba.
Calcular la envolvente de la amplitud de la señal de prueba mediante un filtrado pasa bajos.
Obtener el MSSN como la multiplicación entre la envolvente estimada en el paso anterior y el ruido generado del LTASS.
Escalar el MSSN para obtener la RSR especificada.
Generar una nueva oración como la suma del MSSN y a la oración de prueba.
Poner la nueva oración en un canal de un registro estéreo, según corresponda, y guardarla en un archivo.

Anexo 2

Lista de oraciones para las pruebas sin ruido y para las distintas RSR

Oído derecho	Oído izquierdo
Sin ruido	Sin ruido
A la noche vamos a dormir temprano A las plantas hay que regarlas todos los días Algunas familias son pequeñas y otras numerosas Armarán un libro de cuento entre todos los chicos	Con las semillas preparamos un germinador Con papá miramos las fotos de cuando era bebé El gato es blanco con manchitas negras Cada nene tiene muchos amigos para jugar
RSR 20 dB	RSR 20 dB
En otoño se caen las hojas de los árboles En una bolsa grande guardan los regalos Los dientes definitivos tardan muchísimo en caer Bate yemas y prepara unos ricos panqueques	Bate yemas y prepara unos ricos panqueques Tiene mas de ocho años y viaja con la gente El viento sopla fuerte arrastrando los globos A las ocho y media sale el tren del anden uno
RSR 15 dB	RSR 15 dB
Algunas familias son pequeñas y otras numerosas Ayudaba a su abuela a cocinar galletitas El papá de Juan trabaja en una panadería Todos se rieron con el chiste del abuelo	En una bolsa grande guardan los regalos Tengo que bañar a mi perro con un balde Durante el viaje conocí mucha gente nueva y distinta Gracias por favor me dijo la señora mayor

Anexo 2 (continuación)	
Oído derecho	Oído izquierdo
RSR 10 dB	RSR 10 dB
Había un gato corriendo a un ratón La familia vive en un mismo hogar Sabían decir versos cómicos que riman El colectivo tardó mucho en llegar	Algunos animales pequeños no son domésticos Los hermanos de Lucas miran junto una película Te di un fuerte abrazo para que me recuerdes El cuchillo sirve para cortar la carne
RSR 5 dB	RSR -5 dB
Cuando puedo ayudo a mis compañeros En mi casa tengo un gato y un perro Los dientes de leche se caen porque trabajaron mucho Esos pibes no juegan bien al fútbol	Cuando puedo ayudo a mis compañeros Escuche a un avión que volaba bajito Festejo mi cumple con mis amigos más cercanos Yo protejo al perrito que tengo en casa

Anexo 3 Recomendaciones para la toma de la prueba de inteligibilidad del habla	
<p>Criterios de inclusión Niñas de entre 6 y 12 años.</p> <p>Criterios de exclusión: Edades fuera del rango incluido Que evidencien ante el evaluador un cuadro gripal o de resfrío. Que la maestra esté informada de algún trastorno auditivo o de alteración del lenguaje. Que no se posea la lista de oraciones adecuada para la región donde se desenvuelve el niño.</p> <p>Deberá indicarse en todos los casos Edad del niño y lugar de nacimiento. Esta información la proveerá el mismo alumno.</p> <p>Respecto de la prueba Buscar el lugar más silencioso de la escuela (biblioteca, o aula libre) o del lugar donde se encuentra el alumno. Localizar la fuente de ruido más importante y ubicar la silla —donde estará sentado el alumno— de espaldas a la fuente de ruido principal. Por ejemplo la ventana o la puerta.</p>	

Bibliografía

- ANSI, American National Standards Institute, S3.5 (1997). *Methods for the calculation of the speech intelligibility index*. New York: Acoust. Soc. Am.
- Bagatto, M., Moodie, S., Scollie, S., Seewald, R., Moodie, S., Pumford, J. y Liu, R. (2005). Clinical Protocols for hearing instrument fitting in the desired sensation level method. *Trends in amplification*, 9(4), 199-226.
- Bronkhorst A. W. y Plomp R. (1992). Effect of multiple speech-like maskers on binaural speech recognition in normal and impaired hearing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 92(6), 3132-9.
- Cox, R. M., Alexander y G. C., Gilmore, C. (1987). Development of the connected Speech Test. *Ear and Hearing*, 8 (Supl.5), 119s-25s.
- Craik, F. 1994, Memory changes in normal aging. *American Psychological Association*, 35, 155-158.
- Douglas S., Brungarta, D. S. y Simpson B. D. (2002). Within-ear and across-ear interference in a cocktail-party listening task. *Journal of the Acoustical Society of America*, 112(6), 2985-95.
- Elliot, L. L. (1995). Verbal Auditory closure and the Speech perception in noise test. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38, 1363-76.
- Egan, J. P. (1994). Articulation testing methods. *Laryngoscope*, 58, 955-91.

- Fletcher, H. y Galt, R. H. (1950). The perception of speech and its relation to telephony. *Journal of the Acoustical Society of America*, 22, 89-151.
- Giolas, T. G. y Epstein A. (1963). Comparative Intelligibility of word lists and continuous discourse. *Journal of Speech and Hearing Research*, 6, 349-58.
- González, E. H. (2001). La estimulación y educación auditiva en el medio escolar. En I. Bustos Sánchez (Ed.), *La percepción auditiva; un enfoque transversal* (pp. 137-169). Madrid: ICCE.
- Gurlekian, J. A. (1997). El laboratorio de audición y habla del LIS. En M. Guirao (Ed.), *Procesos sensoriales y cognitivos* (pp. 55-81). Buenos Aires: Editorial Dunken.
- Gurlekian, J. A. (2001). La percepción aduditiva. En I. B. Sánchez (Ed.), *La percepción auditiva: un enfoque transversal* (pp. 51-90). Madrid: ICCE.
- Gurlekian, J. A., Colantoni, L. y Torres, H. (2001). El alfabeto fonético SAMPA y el diseño de córpora fonéticamente balanceados. *Fonoaudiológica*, 47(3), 58-69.
- Hirsh, I. J. (1952). *The measurement of hearing*. Nueva York: Mc Graw-Hill.
- Kalikow, D. N., Stevens, K. N., Elliot, L. L. (1977). Development of a test of speech intelligibility in noise using sentence materials with controlled word predictability. *Journal of the Acoustical Society of America*, 61, 1337-51.
- Killion, M. C., Niguette, P. A., Gudmundsen, G. I., Revit, L. Y. y Banerjee, S. (2004). Development of a quick speech in noise test for measuring signal-to-noise ratio loss in normal and hearing impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 116, 2395-405.
- McArdle, R. A., Wilson, R. H. y Burks, C. A. (2005). Speech recognition in multitalker babble using digits, words and sentences. *Journal of the American Academy of Audiology*, 16, 726-39.
- Miller, G. A., Heise, G. A. y Lichten, W. (1951). The intelligibility of speech as a function of the context of the test materials. *Journal of Experimental Psychology*, 41(5), 329-35.
- Nilsson, M., Soli, S. D. y Sullivan J. A. (1994). Development of the hearing in noise test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 95(2), 1085-99.
- O'Neill, J. J. (1957). Recognition of intelligibility test materials in context and isolation. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 22(1), 87-90.
- Picard, M., Banville, R, Barbaroise, T. y Manolache, M. (1999). Speech audiometry in noise exposed workers: the SRT-PTA relationship revisited. *Audiology*, 38, 30-43.
- Plomp, R. (1978). Auditory handicap of hearing impairment and the limited benefit of hearing aids. *Journal of the Acoustical Society of America*, 63(2), 533-49.
- QuickSIn™. (2001). Speech in noise Test (compact disk) Elk Grove Village (IL). Etymotic Research Inc.
- Romano, L. E. (2005). Test de pronóstico (T-Pron) para el uso de correctores auditivos. *Otolaringológica*, 28, 20-30.
- Scollie, S., Seewald, R., Cornelisse, L., Moodie, S., Bagatto, M. R., Laurangaray, D., Beaulac, S. y Pumford, J. (2005). The desired Sensation Level multistage Input/output Algorithm. *Trends in amplification*, 9(4), 159-97.
- Smoorenberg, G. F. (1992). Speech reception in quiet and noisy conditions by individuals with noise induced hearing loss in relation tone audiogram. *Journal of the Acoustical Society of America*, 91, 421-37.
- Seewald, R., Moodie, S., Scollie, S. y Bagatto, M. (2005). The DSL method for pediatric instrument fitting: Historical perspective and current issues. *Trends in amplification*, 9(4), 145-57.
- Tillman, T. W., y Carhart, R. (1966). An expanded test for speech discrimination utilizing CNC monosyllabic words. NU Auditory test N.º 6. SAM-TR-66-55 (Technical report). Brooks Air Force Base (TX): USAF School of aerospace medicine.
- Trainor, L., Sonnadara, R., Wiklund, K., Bondy, J., Gupta, S., Becker, y cols. (2004). Development of a flexible, realistic hearing in noise test environment (R-HINT-E). *Signal Processing*, 84, 299-309.
- Wang, H. M. (1998). Statistical analysis of mandarin acoustic units and automatic extraction of phonetically rich sentence based upon a very large chinese text corpus. *Computational Linguistics and Chinese Language Processing*, 3(2), 93-114
- Wilson, R. H. (2003). Development of a speech-in-multitalker-babble paradigm to asses word recognition performance. *Journal of the American Academy of Audiology*, 14(9), 453-70.
- Wilson, R. H. y McArdle, R. A. (2005). Speech signals used to evaluate functional status of the auditory system. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 4, 79-94.

Recibido: 31/01/2008
 Modificado: 21/05/2008
 Aceptado: 22/06/2008