

# Sistema de Administración para Batería de Ensayos para Pacientes con Prótesis Auditivas

Esteban N. Osella<sup>†</sup>, Hugo L. Rufiner<sup>†‡</sup>, Aldo D. Sigura<sup>†</sup> y María E. Torres<sup>†‡b</sup>

<sup>†</sup> *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro Verde, Entre Ríos,*

<sup>‡</sup> *CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)*

<sup>b</sup> *Email:metorres@santafe-conicet.gov.ar*

**Resumen**— La morbilidad de las patologías auditivas crece continuamente y cada vez son más los casos que se presentan en edades tempranas. La logoaudiometría es un estudio esencial para su diagnóstico y en los procesos de selección y puesta a punto de las prótesis auditivas. El material utilizado en nuestro país para este estudio se encuentra desactualizado y resulta incompleto (en cuanto a la complejidad del material y a la no utilización de ruido), cuando se lo compara con los utilizados en otros idiomas. Aronson y cols. desarrollaron un corpus de habla combinado con ruidos denominado Batería de Ensayos para Pacientes con Prótesis Auditivas (BEPPA), siendo este un material actualizado y específico para adultos en Argentina. El corpus concentra 4 grupos de listas de palabras de diferentes complejidades fonoaudiológicas y dos grupos de listas de oraciones. La BEPPA fue grabada digitalmente, combinado con ruidos rosa y blanco, e inicialmente se pensó para ser utilizado en formato CD. Dadas las limitaciones que podría ocasionar el soporte, se realizó un prototipo para realizar el estudio de logoaudiometría utilizando la BEPPA de manera eficiente, mediante computadora. En el presente trabajo se expone el proceso de desarrollo de dicho prototipo.

**Palabras clave**— BEPPA, logoaudiometría, audiolgía, programa de computación, software

## I. INTRODUCCIÓN

Las pérdidas en la audición producen un gran deterioro en la calidad de vida de quienes las padecen. En sus diversos grados, afectan en nuestro país a más del 18% de las personas entre 65 y 74 años. Se comprobó que el 35% de las personas por encima de los 75 años tienen pérdidas auditivas significativas. La creciente contaminación auditiva que afecta a la población en general no es alentadora para el descenso de la morbilidad de esta afección, sino que por el contrario, se observa un incremento en edades tempranas. El reciente estudio de Gurlekián sugiere que el 35% de los niños de entre 6 y 13 años de edad que concurre a escuelas bonaerenses y de la Ciudad de Buenos Aires tiene alguna disfunción que le impediría oír bien en un lugar con ruido ambiente, como en el aula [1].

La evaluación clásica de dichas pérdidas se realiza mediante estudios de audiometría aérea, ósea y más recientemente con estudios de potenciales evocados y otoemisiones acústicas [2]. Dicha capacidad se evalúa mediante la logoaudiometría [3]. Usualmente, en nuestro país, este estudio se realiza mediante el material publicado por Tato, en el año 1949 [4]. El mismo consiste en 12 listas de 25 palabras disilábicas u oraciones fonéticamente balanceadas [5].

Para que el ensayo tenga validez estadística han de considerarse diversos aspectos relacionados con el diseño del material del ensayo y con su mecanismo de administración. Respecto al material con que se realiza la logoaudiometría es importante su representatividad fonética, la repetitibilidad y validez del contenido, su método de calificación, la forma de presentación del material (pregrabado o reproducido por el profesional) y el formato de la respuesta del paciente [6]. Respecto al ensayo en si mismo, los factores que pueden alterar el resultado están relacionados con la forma de administración del ensayo (utilización de frases guías o no, etc.), la experiencia del profesional y del paciente y la utilización o no de ruido de fondo [6].

El material de Tato al momento de su desarrollo fue sumamente innovador. Las primeras listas de palabras fonéticamente balanceadas mundialmente conocidas fueron desarrolladas por los Estados Unidos durante la segunda guerra mundial [5]. Con el avance del tiempo, parte del material de Tato perdió vigencia debido a los cambios en el uso del lenguaje y el establecimiento de nuevos parámetros desarrollados para la evaluación de la calidad de las herramientas de diagnóstico. Por otro lado, es común en la práctica audiológica cotidiana la incorrecta utilización de este material [5].

Motivados por la importancia de la logoaudiometría y las condiciones actuales de las listas de Tato es que se desarrolló la Batería de Ensayos para Pacientes con Prótesis Auditivas (BEPPA) [7]. Este material constituye en un corpus de habla conteniendo 4 listas de palabras sueltas (consonantes en contexto vocal (/VCV/), palabras monosilábicas (PM), palabras disilábicas (PD) y transiciones de vocales (TV) y dos grupos de listas de oraciones (oraciones de único grupo de entonación (OUGE) y oraciones de múltiples grupos de entonación (OMGE)). Ha sido grabado por 5 hablantes masculinos y 5 femeninos (48kHz y 16bits), combinado con ruidos blanco y rosa provenientes de la base NOISEX [8], en 4 relaciones señal ruido (SNR). Inicialmente se presentó en formato CD, uno para cada hablante, tipo de ruido y SNR, requiriéndose un total de 90 CDs.

## II. IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA Y DISEÑO

Al momento del abordaje del problema se especificaron problemáticas relacionadas principalmente con el soporte en CD del material. Este soporte introduce numerosas limitaciones vinculadas a la dinámica del ensayo. La cantidad de CD's constituye un volumen físico demasiado grande e incómodo de administrar.

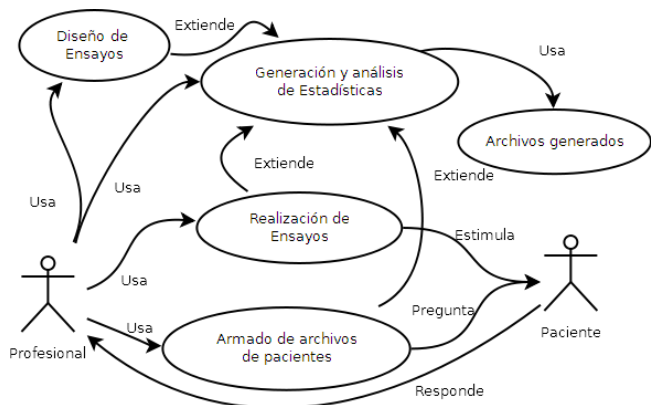


Fig. 1

CASOS DE USO: SE OBSERVA LA INTERACCIÓN ENTRE LAS DISTINTAS PARTES DEL PROGRAMA.

Al encontrarse previamente grabado se introduce una rigidez en relación a las condiciones de contaminación, quedando fija no tanto las SNR como los tipos de ruidos usados. Considerese que en un ensayo se puede necesitar alterar el tipo de ruido, su SNR, o cambiar el hablante. En estos casos habría que cambiar el CD, constituyendo una pérdida de tiempo. Si fuera necesario repetir un elemento, el profesional debería tener a su disposición el tiempo dentro de la pista de la lista seleccionada donde se encuentra dicho elemento y proceder a localizarlo manualmente, con el riesgo que se reproduzca accidentalmente un elemento que no habría de ser reproducido, introduciendo una distorsión en el ensayo. El tener que operar el reproductor de audio a la vez que realizar el registro de los resultados de manera simultánea resulta dificultoso e incómodo. Por último, se menciona la existencia de una alta probabilidad de daño por rayado del medio de almacenamiento.

Teniendo en cuenta tanto la utilidad potencial del material desarrollado en la BEPPA y las limitaciones expuestas, se decide desarrollar una aplicación basada en computadora que permita administrar de manera más cómoda y eficiente el test. Habiendo consultado a profesionales del área, se determinaron los requisitos del programa a desarrollar (requisitos de usuario [9]), lográndose la siguiente formulación:

- Administración eficiente del material de la BEPPA, pudiendo alternar el orden de reproducción, repetir ítems a voluntad del operador y necesidad del paciente, entre otras facilidades.
- Posibilidad de incorporar distintas señales de ruido, control de las SNR e intensidad de la señal.
- Permitir el registro de los distintos datos relacionados a los resultados y/o variables del ensayo dentro de la aplicación.
- Permitir el almacenamiento de la documentación relacionada con cada paciente, a fin de poder llevar a cabo un seguimiento.
- Llevar un historial del desempeño de la batería, con el fin de obtener una retroalimentación para la identificación de posibles fallas en el diseño o en la grabación.

En base a los requerimientos del usuario se identi-

ficaron los casos de uso, representados en la Fig. 1. Se identificaron dos actores, uno que interactúa de manera directa con el sistema (el profesional) y otro de manera indirecta (paciente). Las áreas identificadas son las relacionadas con la carga de datos personales del paciente, la reproducción de ensayos y registro de las respuestas, el diseño de ensayos y el análisis y generación de estadísticas.

En base a los requerimientos de usuario y a el análisis de casos de uso se determinaron los requerimientos de sistema [9] a desarrollar. Entre los que se menciona:

- Capacidad de reproducir en simultáneo dos archivos de audio independientes;
- Integración en un solo panel de comando de todos los aspectos relacionados con la reproducción del audio;
- Disposición de elementos de registro de resultado y generación de informes;
- Capacidad de utilizar el programa de manera independiente de un material logoaudiométrico en particular;
- Utilización de formatos de archivos compatibles hacia el futuro y transportables hacia otros sistemas operativos;

Para la determinación de los alcances y requisitos del programa se utilizó la metodología de Casos de uso [10]. Esta metodología permite abordar la solución del problema desde un punto de vista sistemático, identificando los actores, sus interacciones y las distintas secciones que intervendrán en el programa. Para el diseño del programa se siguió la metodología de programación orientada a objetos (POO), mediante la cual se realizan abstracciones computacionales de los objetos identificados en el problema. Cada parte necesaria del programa constituye un objeto que tiene características y un comportamiento determinado [9].

Para la selección de la herramienta de desarrollo se consignó la utilización de un entorno de desarrollo integrado (IDE). Para su elección se estableció un criterio basado en el precio y disponibilidad de la herramienta, la disposición de bibliografía específica, los sistemas operativos de base del IDE y sobre el que fuera a correr la aplicación el usuario final y la complejidad técnica del desarrollo requerido. El lenguaje de programación elegido para el desarrollo fue C++, debido a la experiencia previa del autor con este lenguaje. Se evaluaron 5 IDE para C++ de distribuciones libres y licenciadas. Se determinó la utilización de Microsoft Visual Studio 2005 dado que se dispone de una licencia académica en el grupo de trabajo, sumado a la gran cantidad de bibliografía disponible. Se consideró oportuna la utilización del .Net framework para el desarrollo. Esta elección se realizó en base a su potencial migratorio hacia sistemas operativos anteriores y posteriores al utilizado al momento de desarrollo [11].

En el proceso de selección de la librería de audio a utilizar, se establecieron los requisitos de disponibilidad y gratuidad (para uso comercial o no), capacidad de obtener múltiples instancias de sonido de manera simultánea y facilidad en el uso. Se evaluaron 3 alternativas: el reproductor de sonidos de Windows, DirectSound y DirectMusic y OpenAl a través de OpenTK. Se eligió

esta última opción en base a la simplicidad y versatilidad que ofrece.

### III. DESARROLLO

Atendiendo a las demandas y restricciones contempladas en las secciones anteriores se desarrolló una aplicación prototipo en formato de ventanas múltiples, cada una asociada a un área específica del programa. Desarrollados los diagramas de casos de uso y los modelos de los objetos requeridos en una primer aproximación, se procedió a realizar la programación del prototipo. Como resultado final, se logró la mencionada aplicación basada en ventanas: ventana de carga de pacientes, de realización de ensayos, de armado de listas y baterías, configuración y análisis de estadísticas.

La ventana de carga de datos de pacientes permite introducir y/o visualizar todos los datos relacionados con un paciente en particular, su historia clínica, etcétera. Se organiza en solapas, cada una de las cuales agrupa distintos tipos de datos (datos personales, clínicos, relacionados con la prótesis, audiometrías, etc.).

Para la realización de ensayos se dispone de una ventana en la que se puede seleccionar qué componente del tipo de ensayo seleccionado será evaluado. Se pueden manejar diversos parámetros: asociados a la reproducción del sonido, como su volumen o el hablante a utilizar, o bien relacionados con la contaminación sonora, tanto en tipo de ruido como SNR. Se pueden configurar dos modos de operación: avanzado o simple. En el modo simple, el profesional solamente selecciona si esta satisfecho o no con la respuesta del paciente. En el modo avanzado, el profesional puede incluir la a través del teclado la respuesta del paciente, la cual queda registrada en el resultado del ensayo. Esto podría ser de utilidad en investigación estadística de diferentes afecciones. Se dispone de un campo para el registro de las conclusiones del ensayo.

Se desarrolló un método de sugerencia de calificación automática. Este método opera en función del tipo de lista que se le presenta al paciente y utiliza la respuesta del paciente para determinar una puntuación porcentual de éxito de la respuesta. En el caso de aplicación de la BEPPA, este método tiene 3 posibles comportamientos. Para las listas /VCV/, solamente se evalúa la coincidencia de la consonante. En las listas TV se busca la aparición sucesiva de dos vocales y se compara dicha sucesión en la cadena de caracteres de la respuesta del paciente. Para todos los otros casos, se evalúa la distancia de Levenshtein entre la cadena objetivo (provista por la BEPPA) y la respuesta del paciente. El método de Levenshtein mide la cantidad de inserciones, intercambios o eliminaciones que hay que hacer en una cadena para llegar a una cadena objetivo [12]. Cabe aclarar que este método está disponible sólo en el modo avanzado.

Se ofrece una opción de redacción de informes en función de los resultados obtenidos. En el modo normal, para cada elemento reproducido con respuesta fue afirmativa se coloca 100 dividido por la cantidad de veces que fue reproducido. En caso de que el elemento no fuere reproducido o si su respuesta fuera errónea se coloca cero. En modo avanzado, se toman los promedios

indicados en los componentes "TextBox" dispuestos a tal fin, los cuales han sido previamente completados por el método de evaluación automática o por el profesional. Tanto en modo normal como en avanzado, los resultados se promedian y se indican los mejores y peores resultados.

Una sección de diversos análisis estadísticos fue incluida en el diseño. Por un lado se permite efectuar revisiones de los resultados del estudio para un paciente dado, identificando los mejores y peores resultados, así como también sus promedios y principales dificultados. Otro aspecto estadístico que se evalúa es el desempeño global de la batería utilizada. Si bien para el caso de la BEPPA se han realizado las validaciones correspondientes [7], se podría pensar en el desarrollo futuro de otros materiales orientados hacia poblaciones particulares (seleccionados por edad, lengua, regionalismos, etc.). Ese eventual material deberá de ser depurado, corrigiendo posibles errores sistemáticos, fallas en los hablantes, etc. a fin de realizar la validación correspondiente. Para el análisis estadístico de ese eventual material se desarrolló una ventana que integra los diferentes niveles de composición de las baterías: Batería, Lista, Componentes, Hablantes. Se muestran informes con los valores promedios de cada sub-elemento que lo compone, desviación estándar y mejores y peores resultados.

Por último, se desarrollaron ventanas para la elaboración de los archivos necesarios para utilizar el programa con cualquier batería grabada que se disponga. Se divide en dos partes: el armado de listas y el armado de batería. Las listas son conjuntos de material de logaudiometría con fines diagnósticos comunes. En el armado de listas, se proveen campos para ingresar el contenido de texto del material y el tiempo de comienzo y finalización de cada pista que lo compone. Cada lista genera un archivo propio que la describe. Esta ventana es utilizada también para cargar los datos de las grabaciones de cada hablante. Si bien se encuentra dentro del prototipo, no se espera que se encuentre presente en una aplicación para usuario final, dado que el material elaborado ha de ser validado debidamente antes de ser aplicado a pacientes. Esto último se aplica también a la sección de análisis estadístico del material.

El armado de las baterías se realiza mediante una ventana propia. En ella se dispone de campos para incluir los archivos de cada lista, así como también herramientas para cargar los hablantes, con sus respectivas energías y archivos de reproducción. El archivo de descripción de la batería incluye los componentes de ruido utilizados, por lo que se dispone de una sección para su carga y detalle.

En búsqueda de aportar verticalidad al prototipo, se previó la utilización de archivos en formato XML en todos los niveles del proyecto. Este formato de texto plano mediante índices permite que futuros revisores del proyecto no necesiten los datos técnicos de la confección del archivo. De este modo, mediante la visualización de un archivo de ejemplo con cualquier editor de textos convencional, se puede obtener la estructura general de cada archivo [11].

Tipo de Lista	Tato	BEPPA + CD	BEPPA + Prototipo
CCV	--	2:26	1:07
PM	--	1:28	1:07
PD	0:55	0:54	0:36
OUGE	--	1:18	0:53
OMGE	--	1:43	1:20

TABLA I

COMPARACIÓN DE LAS DURACIONES PROMEDIO DE LOS ENSAYOS.

#### IV. EXPERIMENTACIÓN

Se realizaron pruebas con el fin de obtener parámetros a partir de los cuales realizar comparaciones. Se idearon 3 casos potenciales a tal fin: la no utilización de la BEPPA (y por lo tanto, la utilización de las listas de Tato), la utilización de la BEPPA en formato CD y la utilización de la BEPPA a través del prototipo desarrollado. Los resultados promedio se muestran en el Cuadro I. En el caso de las listas de Tato se tomaron solamente las de disílabos, utilizando sólo 19 de los 25 ítems que compone cada lista. Esta decisión se tomó a fin de obtener un parámetro equivalente en la comparación con las listas del grupo de PD. Se observan que los tiempos requeridos son similares. En cuanto a la comparación entre las distintas presentaciones de la BEPPA (con CD y mediante el prototipo), se observan reducciones porcentuales que rondan el 43% (entre 29% y 117%). Esto sugiere una mejora en la eficiencia del ensayo y podría trasladarse a un aumento de la productividad del profesional a cargo del mismo.

#### V. CONCLUSIONES

La logaudiometría lleva más de medio siglo demostrando ser una herramienta útil en el estudio de patologías auditivas y en la calibración de las prótesis auditivas. Su utilización combinada con ruido en competencia sugiere nuevas metodologías para determinar las calibraciones de las prótesis auditivas [13], [14], [15] e inclusive para evaluar las diferentes estrategias de codificación de la voz. Sin embargo, el potencial de esta técnica no termina allí. Diversos estudios sugieren su utilización para la evaluación de la reserva auditiva a nivel central [16], [17], lo cual incrementa la potencial utilidad de el prototipo desarrollado.

Se realizó un estudio del material utilizado en las logaudiometrías en la Argentina. Se analizaron tanto las limitaciones del material utilizado corrientemente, como las que presenta el soporte de presentación del material propuesto en [7]. Motivado por dichas limitaciones, se diseñó un prototipo de programa de computadora para el manejo de material de logaudiometría grabado. Para el abordaje del desarrollo del prototipo se utilizaron diferentes metodologías de programación, incluyendo diagramas de casos de uso y programación orientada a objetos. Se logró un prototipo versátil, en cumplimiento con los requerimientos solicitados. En él se utilizan los registros sonoros de las listas de la BEPPA libres de contaminación y, por otra parte, registros de distintos tipos de ruido de NOISEX. Estas señales son mezcladas por el sistema de acuerdo con los parámetros (SNR, tipo de ruido, etc.) seleccionados por el profesional, de acuerdo a las características de cada paciente.

Se espera que a futuro el prototipo diseñado pueda ser integrado con otras herramientas de diagnóstico, orientadas al procesamiento del sonido y el habla en el tronco encefálico, o en la medición de otros parámetros de la capacidad auditiva. También se prevé la implementación de herramientas para la visualización de resultados mediante gráficas de funciones matemáticas que ayuden a valorar los resultados. Con posterioridad, su adaptación para la utilización en diferentes sistemas operativos, mejoramiento y complemento de la interfaz gráfica. Luego de una validación clínica, el prototipo podría ser elaborado en una fase comercial, a fin de que esta herramienta pueda ser utilizada por los profesionales del área para las logaudiometrías y pueda ser constituido como un estándar.

#### VI. AGRADECIMIENTOS:

Este trabajo fue realizado en el marco de los proyectos PAE-PICT-2007-00052, PID-UNER 6111-2 y PID-UNER 6107-2. Los autores agradecen el invaluable apoyo de la Dra. Leonor Aronson y el tiempo dispensado para el análisis y discusión de este prototipo.

#### REFERENCIAS

- [1] "Demasiado ruido en las escuelas," *Diario La Capital*, vol. Diciembre, 13, p. [http://www.lacapital.com.ar/ed\\_salud/2008/12/edicion\\_8/contenidos/noticia\\_5102.html](http://www.lacapital.com.ar/ed_salud/2008/12/edicion_8/contenidos/noticia_5102.html), 12 2008.
- [2] V. Diamante, *Otorrino-Laringología y afeciones conexas*, E. E. Ateneo, Ed., 2004.
- [3] M. T. Maltby, *Principles of hearing aid audiology*. Whurr Publisher Ltb, 2002.
- [4] J. Tato, "Características acústicas de nuestro idioma," *Rev. Otorinolaringológica*, vol. 1, pp. 17–34, 1949.
- [5] A. B. Enrique Salesa Batlle, Enrique Perelló Scherdel, *Tratado de Audiología*. Elsevier España, 2005.
- [6] L. Mendel y J. Danhauer, *Audiologic Evaluation and Management and Speech Perception Assessment*, I. Singular Publishing Company, Ed., 1997.
- [7] L. Aronson, P. Estienne, D. Milone, C. Martínez, H. Rufiner y M. E. Torres, "Base de Datos Batería de Evaluación para Pacientes con Prótesis Auditivas (BEPPA)," vol. 14(1), pp. 17 – 24, 2007 (ISSN 1666-9398)
- [8] H. Varga, A.; Steeneken, "Assessment for automatic speech recognition: NOISEX-92: A database and an experiment to study the effect of additive noise on speech recognition systems," *Speech Communication*, vol. 12(3), pp. 247–251, 1993.
- [9] I. Sommerville, *Ingeniería del Software*, M. Martín-Romo, Ed. Pearson Addison-Wesley, 2004.
- [10] M. Fowler, *UML Gota a gota*. Addison Wesley Longman de México, X. A. de C. V., 1999.
- [11] S. R. G. Fraser, *Pro Visual C++/CLI and the .NET 2.0 Platform*, Apress, 2006.
- [12] S. G. Kimmo Fredriksson, "Average-optimal string matching," *J. of Discrete Algorithms*, vol. 259, p. doi:10.1016/j.jda.2008.09.001, 2008.
- [13] D. Kalikow y K. Stevens, "Development of a test of speech intelligibility in noise using sentence materials with controlled word predictability," *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 61,5, pp. 1337–1351, 1977.
- [14] A. Martínez Fernández, *Comparación del umbral auditivo obtenido mediante potenciales auditivos de estado estable, audiometría tonal liminar y potenciales de tronco cerebral*, E. de la Universidad de Granada <http://hera.ugr.es/tesisugr/15828852.pdf>, 2005.
- [15] M. Nilsson, S. D. Soli y J. A. Sullivan, "Development of the hearing in noise test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise," *J. of Acoustical Society of America*, vol. 95, pp. 1085–1099, 1994.
- [16] C. King, C. M. Warrier, E. Hayes y N. Kraus, "Deficits in auditory brainstem pathway encoding of speech sounds in children with learning problems," *Neuroscience Letters*, vol. 319, p. 111–115, 2002.
- [17] B. Wible, T. Nicol y N. Kraus, "Correlation between brainstem and cortical auditory processes in normal and language-impaired children," *Brain*, vol. 128, pp. 417–423, 2005.