

## Inteligibilidad de la palabra en aulas escolares

Ing. Horacio Cristiani  
Fga. Mabel Boffi  
Fga. Silvia Espinazo  
Fga. Paula Campodónico

### Introducción

La evaluación objetiva de la calidad acústica en el ámbito escolar involucra el conocimiento de parámetros tales como el nivel de ruido de fondo y el tiempo de reverberación, para lo cual se requiere instrumental adecuado y técnicas especializadas.

Trabajos realizados en distintos establecimientos educativos, han demostrado que tanto el nivel de ruido de fondo como la relación señal-ruido existente en ellos, está lejos del ideal aconsejado (Berg, 1993).

En un trabajo anterior (3) se han realizado mediciones de señal y ruido en aulas ocupadas y desocupadas en distintos establecimientos de la Ciudad de Buenos Aires y se obtuvieron resultados similares a los presentados en trabajos extranjeros.

Ante la dificultad de generalizar este tipo de medición, se ha diseñado un método que proporciona un indicador general de la calidad acústica del aula, como es la discriminación de la palabra en las condiciones reales del salón de clases ocupado por personas normoyentes uniformemente distribuidas. Esta forma de encarar el estudio, si bien involucra una cantidad de aspectos subjetivos de los participantes de la prueba, tiene las ventajas de no requerir grandes inversiones en medios técnicos y de considerar todos los componentes adversos de una sola vez.

Las condiciones acústicas en el aula son inapropiadas para ciertas tareas como aprender a leer, escuchar y comprender material que no es familiar, entre otras actividades que se realizan en el ámbito escolar. En particular, los niños más pequeños no están preparados aún para deducir o extraer la idea principal de un contexto general.

Los altos niveles de ruido y la excesiva reverberación desalientan tanto a los alumnos como a los maestros. Los docentes reconocen en su lista de frustraciones, como de alto rango, el ruido en las aulas que dificulta el proceso de enseñanza-aprendizaje. Por el contrario, los estudiantes no se dan cuenta de que la pobre calidad acústica del salón de clases contribuye a sus dificultades en el aprendizaje. Aún pudiendo extrapolar los conceptos (basándose por ejemplo en conocimientos previos), la fatiga que produce tanto en alumnos como en docentes el esfuerzo extra requerido para contrarrestar

los factores adversos, disminuye la atención de ambas partes y perjudica el intercambio. Por eso es de gran importancia contar con óptimas condiciones ambientales para escuchar y comprender adecuadamente.

## Material y Método

El presente estudio fue realizado en establecimientos educativos de distintos niveles de enseñanza y se utilizaron aulas habituales de clase. La ubicación y las condiciones acústicas de cada edificio determinaron las características de los diversos ambientes en los que se llevaron a cabo las mediciones. Se han incorporado a la evaluación las aulas denominadas **D** y **E**, pertenecientes a la Mutualidad Argentina de Hipoacúsicos, siendo la primera un aula de conferencias acústicamente acondicionada y la segunda una sala de espera sin tratamiento acústico. Los resultados obtenidos en estas dos últimas aulas fueron tomados como referencia comparativa de las otras mediciones realizadas.

A continuación se describen las aulas, que fueron seleccionadas por ser representativas de cada edificio, en las que se realizaron las mediciones.

**Aula A:** ubicada en un edificio antiguo proyectado originalmente como establecimiento educativo, sin tratamiento acústico. El techo del aula supera la altura mínima estándar. Ventanas altas que dan a la calle.

**Aula B:** ubicada en un edificio reciclado, sin tratamiento acústico. El techo es de altura promedio y ventanas que dan a un patio interno.

**Aula C:** ubicada en un edificio antiguo reciclado construido sin fines educativos, sin tratamiento acústico. El techo supera la altura mínima estándar. Las puertas de dos hojas vidriadas con postigones dan a un patio interno.

**Aula F1:** ubicada en edificio moderno, proyectado originalmente con fines educativos, sin tratamiento acústico. Los techos tienen altura promedio. La puerta vidriada y las ventanas se comunican a un pasillo de alto tránsito.

**Aula F2:** aula descrita en F1, con tratamiento acústico en cielo raso.

La población total estudiada está compuesta por 102 individuos normoyentes con la siguiente distribución:

**Aula A:** 20 individuos de 15 a 17 años.

**Aula B:** 27 individuos de 12 a 13 años.

**Aula C:** 12 individuos de 18 a 20 años.

**Aula D:** 11 individuos de 30 a 35 años

**Aula E:** 12 individuos de 30 a 35 años.

**Aula F:** 23 individuos de 25 a 45 años.

La población evaluada fue distribuida uniformemente en toda la superficie de las salas en las que se realizó el estudio.

Se utilizaron para la medición 4 listas de palabras de fácil confusión, grabadas en formato digital, en disco compacto (frecuencia de muestreo 44 KHz, 16 bits, monoaural). Las mismas fueron emitidas en el aula bajo prueba de campo libre, por medio de un parlante con respuesta en frecuencia plana. Un tono de 1 KHz incluido en el CD se usó como tono de calibración, disponiendo de la misma potencia media que el habla grabada, de tal forma que presente un nivel de 65 dB SPL en la 1ª fila de la sala de clase.

Cada una de las 4 listas consta de 25 palabras bisílabas de idénticas características suprasegmentales (acentuación y duración).

Las características particulares de cada lista son las siguientes:

**Lista 1:** En esta lista fueron elegidas consonantes oclusivas sonoras o sordas en la primera sílaba y para la segunda sílaba consonantes sordas. No fue usado un patrón vocálico definido; esta condición es igual en la lista 2.

**Lista 2:** Fueron seleccionadas para la primera sílaba consonantes oclusivas sonoras o sordas y en la segunda sílaba consonantes sonoras.

**Lista 3 y 4:** Se utilizaron iguales vocales a lo largo de la lista. No se definió patrón consonántico.

A cada uno de los participantes de la prueba se les entregó una planilla con 4 columnas y 25 filas y se les explicó que cada columna representaba una lista. Debían escribir en cada casillero las palabras que escuchaban, dejando en blanco las casillas correspondientes a palabras de las que ni siquiera podían arriesgar una interpretación.

## Nomenclatura y definiciones

Para un aula determinada llamaremos  $n$  a la cantidad de alumnos, y la variable  $i$  va a identificar a cada uno de ellos (es decir, que  $i$  va a tomar valores entre 1 y  $n$ ). Contando con 4 listas de 25 palabras cada una, la cantidad total de sucesos a contabilizar será  $4 \times 25 \times n$ , es decir  $100 \times n$ .

En el presente análisis llamaremos *error* a cada una de las palabras escritas en la planilla que difieran fonéticamente de la emitida (no fueron considerados los errores de ortografía).

Las palabras omitidas son consideradas errores y cada palabra incorrecta es contabilizada como un solo error, independientemente de la cantidad de letras confundidas. Por ejemplo si la palabra emitida fue "seca" y la respuesta fue "teja" se contabiliza un error, a pesar de haber dos consonantes erróneas ("s" se sustituyó por "t" y "c" por "j").

Cada alumno  $i$  presentará  $e_i$  errores (ésta es la cantidad total de errores u

omisiones para ese alumno en particular).

Definimos un indicador del rendimiento o **Indicador de Inteligibilidad del Aula (IIA)** como:

$$I I A = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{100 n}$$

Esto es simplemente el complemento a 1 del cociente entre la sumatoria total de errores para todos los alumnos considerados y el total de palabras emitidas.

Directamente expresaremos al indicador como un porcentaje:

$$I I A \% = 100 - \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$$

Es evidente que el *IIA* puede ser interpretado también como 1 menos el valor medio de los errores individuales observados. Cuanto mayor sea el valor de *IIA*, mejores serán las condiciones de inteligibilidad del aula.

Si por ejemplo, en un aula dada no se producen errores en la prueba, se ve fácilmente que la sumatoria de los errores es igual a 0 y por lo tanto el *IIA*=100%.

Para el cómputo del índice se contabilizan los resultados individuales, es decir, los errores para cada alumno  $e_i$ . No se aplica un criterio estadístico para la eliminación de resultados, ya que no es posible descartar un resultado aunque su dispersión respecto del valor medio resulte amplia, ya que puede haber numerosos factores acústicos que hayan originado esta respuesta (ubicación, fuentes de ruido cercanas, etc.) y éstas son parte del rendimiento que queremos evaluar.

De la definición del *IIA*, surge que cada error cometido por un sujeto cualquiera afecta en una magnitud de  $1/N$  % en el valor del índice. Por ejemplo, si  $N=20$ , cada error individual trae aparejado un descenso de *IIA* de 0,05%.

## Resultados

En la tabla I se muestran los resultados para las aulas evaluadas: (S, desviación estándar).

<b>Aula</b>	<b>Características</b>	<b>N</b>	<b>IIA %</b>	<b>S</b>
A	Polimodal, sin tratamiento acústico	20	69,2	11,7
B	Sin tratamiento, centro de Buenos Aires	27	75,2	6,5
C	Interna, lindera con patio de recreo, pequeña	12	86,6	6,5
D	Sala de conferencias interna, buena acústica	11	93,6	5,4
E	Sala de espera a la calle, sin tratamiento	12	82,2	6,1
F1	Jardín de infantes, alto nivel de ruido por patio de recreo	14	76,0	6,2
F2	Idem con material absorbente en cielo raso	16	79,0	11,5

Hemos incorporado a manera de referencia los porcentajes obtenidos en dos pruebas realizadas en una sala de conferencias adecuadamente acondicionada (D) y en una sala de espera no preparada (E).

El aula F, perteneciente a un Jardín de Infantes, fue testeada en dos oportunidades: la primera (F1) sin tratamiento acústico y la segunda luego de haber sido revestida con un material absorbente (F2).

La elección de las listas es arbitraria. Podrían haberse elegido otras listas, como las fonéticamente balanceadas del Dr. Tato, pero el porcentaje de errores hubiera sido inferior y la distribución más uniforme.

## **Conclusiones**

Se ha presentado un método simple para evaluar las condiciones acústicas de aulas escolares, basado en consideraciones de discriminación de la palabra.

El indicador que resulta coincide con el valor medio de la inteligibilidad de palabras de fácil confusión para un grupo de oyentes uniformemente

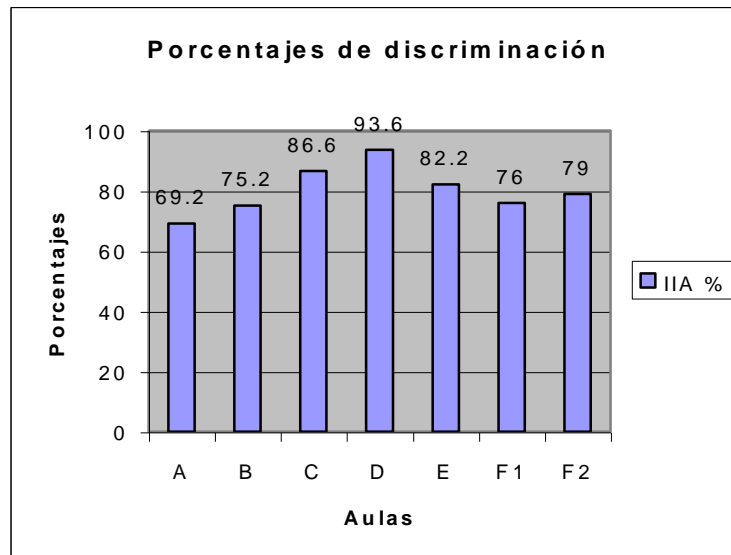
distribuidos en la superficie del aula.

El único factor que no fue específicamente medido en esta prueba es el ruido interno del aula generado por los alumnos. Teniendo en cuenta que en un caso la prueba se hace con adultos en aulas de jardín (F1 y F2), y que estos son menos "ruidosos" que los niños, se debe estimar que en condiciones reales los resultados serían peores.

A pesar de la habilidad del cerebro de procesar el habla aún en condiciones adversas, la calidad del ambiente acústico es importante para el rendimiento de los estudiantes. Así como los auditorios, teatros o salas de concierto son tratados acústicamente en forma compleja, las aulas educativas también deben estar preparadas. El motivo por el cual éstas necesitan un procedimiento acústico especial es simple: los alumnos deben entender al profesor y se deben entender entre ellos.

De los resultados obtenidos en este estudio se concluye que las aulas acústicamente acondicionadas (sala D) permiten optimizar la discriminación.

El gráfico muestra los valores de IIA obtenidos en las distintas aulas evaluadas, donde se observan valores que van desde un 69% a un 93%, aproximadamente, correspondiendo al rango de aulas clasificadas como "de muy pobres condiciones" hasta "muy adecuadas".



El trabajo en equipo con arquitectos e ingenieros especializados en acústica permitiría analizar y determinar las necesidades para el mejoramiento de las aulas. Así como se exige que la escuela tenga buena iluminación y ventilación, debería haber pautas sobre la aislación acústica para la utilización de

materiales sonoabsorbentes reemplazando los materiales comúnmente utilizados.

Debemos intentar encontrar una respuesta a esta pregunta: ¿Qué valor de IIA resulta aceptable? Se trata de un indicador de la calidad que debería mantenerse lo más alto posible. Pero indicar un mínimo aceptable es muy difícil de concretar. Depende de varios factores como:

- Edad de los alumnos
- Conocimiento previo del tema

Hay un elemento más difícil de ponderar y es el siguiente: *aún comprendiendo el mensaje ¿en qué medida el hecho de una audición "incómoda" baja drásticamente la capacidad de mantener la atención?*

## Resumen

Teniendo en cuenta la diversidad de factores que inciden en forma negativa en la inteligibilidad del habla en los ámbitos escolares, se propone la realización de una prueba para determinar un coeficiente que proporcione una idea de la calidad acústica del aula, basado en porcentajes de discriminación de personas oyentes uniformemente distribuidas en el recinto.

Para este fin se ha grabado un conjunto de 100 palabras divididas en 4 listas de 25 palabras cada una, que por sus características son de fácil confusión. El test es administrado en las condiciones reales del aula a través de un parlante y se contabilizan los resultados individuales.

Se define el **Índice de Inteligibilidad del Aula** (IIA), como el valor medio de las respuestas correctas para el conjunto de los sujetos testeados. Se muestran los resultados obtenidos en los distintos ambientes con y sin tratamiento acústico.

## Abstract

Considering the various factors affecting speech discrimination negatively within the classroom settings, a test to determine a specific coefficient has been carried out. This coefficient is based on speech discrimination scores among normal hearing listeners who are distributed all around the classroom, to obtain an idea of the acoustics quality.

100 words presented in 4 lists of 25 words each have been recorded for this purpose; due to their characteristics these words can be easily confused. The test was performed in a real classroom; the lists were transmitted from a loudspeaker and the individuals' scores were registered separately.

The speech discrimination index (IIA) in a classroom should be the mean

score obtained out of the correct answers of the subjects in each classroom. The results in the different classroom with or without acoustic treatment are shown in this project.

## **Bibliografía**

1. ANSI American National Standards Institute (1995): Criteria for Evaluating Room Noise. Norma S 12.2-
2. ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning. (1999): Applications Handbook
3. De Conde Johnson, C.; Benson; P. Seaton J.B. (1997): Educational Audiology Handbook. San Diego (USA): Singular Publishing Group.
4. Lubman, D. (1997): America's Need for Standards and Guidelines to Ensure Satisfactory Classroom Acoustics - Act 133<sup>rd</sup> Meeting of the Acoustical Society of America,
5. Pearsons, K.; Bennett, R.; Fidell, S.: Speech levels in various environments. Washington,DC (USA): Bolt Beranek & Newman Report, Nro 3281.
6. Rosenberg, G. (1994): Improving Classroom Acoustics, Florida Department of Education. Florida (USA).
7. Ross, M. (1990): Hearing-Impaired Children in the Mainstream. York Press. Maryland