



## Artículo original

# Los sistemas de frecuencia modulada en alumnos con implante coclear

Rosa Mora Espino<sup>1</sup>; Franz Zenker Castro<sup>2</sup>; María del Carmen Rodríguez Jiménez<sup>3</sup>; José Luís Mesa Suárez<sup>4</sup>; Ana Coello Marrero<sup>4</sup>

1. Clínica Barajas. Santa Cruz de Tenerife, España.
2. Fundación Canaria Dr. Barajas para la Prevención e Investigación de la Sordera. Santa Cruz de Tenerife, España.
3. Universidad de La Laguna. Santa Cruz de Tenerife, España.
4. Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno de Canarias. Santa Cruz de Tenerife, España.

### Resumen

Las limitaciones del Implante Coclear (IC) en condiciones acústicas adversas aconsejan el uso de sistemas de Frecuencia Modulada (FM) para mejorar la relación señal - ruido en entornos de aprendizaje auditivo - verbal. Estudios previos han mostrado como las condiciones acústicas de la mayoría de las aulas resultan aceptables para los alumnos normoyentes, sin embargo, estas condiciones son poco apropiadas para los alumnos con IC u otros tipos de Ayudas Técnicas Auditivas. En este estudio se lleva a cabo una simulación de las competencias de identificación del habla de un grupo de alumnos de 1º de la ESO en función de las características acústicas del aula. El Índice de Audibilidad del Habla (Speech Audibility Index; SAI) obtenido para el aula analizada fue de un 52%. A partir de este índice SAI se lleva a cabo una estimación de la percepción del habla para los alumnos normoyentes, con IC e IC+FM para la misma posición del alumno en el aula. Se estudia el reconocimiento del habla en tres condiciones de dificultad: (i) palabras de alta y baja familiaridad aisladas (ii) fonemas en sílabas y (iii) palabras de alta y baja familiaridad en frases sencillas y complejas. Los resultados muestran que las competencias lingüísticas de identificación del mensaje hablado obtenidos por los alumnos normoyentes son superiores al 92%. La estimación para los alumnos con IC mostró unas puntuaciones significativamente inferiores siendo del 34% en el reconocimiento de palabras noveles en frases complejas. Los resultados obtenidos con IC+FM mejoran de forma significativa el rendimiento lingüístico llegando al 80% en el reconocimiento de palabras noveles en frases complejas. Este estudio evidencia las barreras acústicas del aula analizada para los alumnos con IC y las ventajas de uso de sistemas de FM.

**Palabras Claves:** Implante Coclear, Frecuencia Modulada, Índice de Audibilidad del Habla, Ayudas Técnicas, Identificación del Habla

### Introducción

Gran parte de las actividades en el aula se apoyan en la expresión oral por lo que la acústica del aula ha de ser óptima en orden a facilitar el aprendizaje escolar. Condiciones acústicas aceptables para alumnos normoyentes pueden ser inapropiadas para alumnos hipoacúsicos (1). Diversos factores tanto acústicos como lingüísticos determinan la correcta comprensión final del habla (2). En primer lugar, las condiciones acústicas del aula pueden favorecer o degradar el espectro del habla del profesor u otros hablantes (3). En segundo lugar, la distancia

entre el oyente y el hablante determinan la intensidad con la que se percibe finalmente el mensaje hablado (4). Tercero, el ruido de fondo proveniente del exterior o interior del aula puede disminuir la Relación Señal - Ruido (RSR) (5). Por último, un Tiempo de Reverberación (TR) excesivo puede ejercer un efecto de enmascaramiento sobre el propio habla del profesor o alumnos reduciendo la inteligibilidad (6).

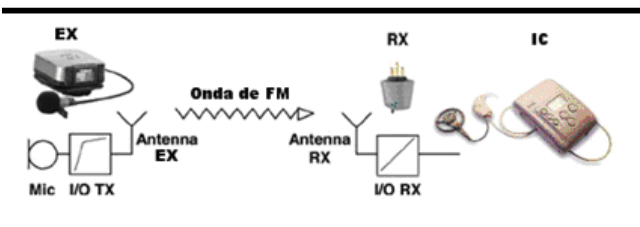
Los IC son el procedimiento de corrección auditiva indicado en hipoacusias severas y profundas. Los IC cuentan con limitaciones técnicas al procesar la señal del habla en situaciones con elevado ruido de fondo (7). Algunos de los IC utilizan mi-

crófonos omnidireccionales que en condiciones acústicas adversas no mejoran la RSR (8). Varios estudios han mostrado como en condiciones acústicas pobres las necesidades de RSR de los alumnos con IC son de al menos de 20 dB frente a los 6 dB de RSR requerido por los alumnos normoyentes (9).

En los últimos años se han propuesto mejoras tecnológicas que permiten superar estas limitaciones. Entre estos avances destacan el uso de sistemas de Frecuencia Modulada (FM) incorporados al IC. Estas ayudas técnicas mejoran de forma significativa la capacidad de reconocimiento del habla en ambientes ruidosos. En usuarios de IC la utilización de sistemas de FM puede llegar a mejorar la RSR entre 10 a 20 dB (10,11,12).

Un sistema de FM (Figura 1) está compuesto por varios elementos. En primer lugar la emisora (EX), que registra a través del micrófono (MIC) y emite por ondas de radio frecuencia la señal acústica. En segundo lugar, el receptor (RX), que finalmente capta la señal a través de la antena y provee la señal de audio a la entrada del IC.

**Figura 1:** Representación esquemática del funcionamiento de un sistema de FM adaptado a un IC.



La posibilidad de inferir la inteligibilidad del habla en función de las características acústicas de la sala es fundamental en el diseño de aulas escolares (13). Varios índices han tratado de relacionar ambas variables. En el ámbito educativo es ampliamente utilizado el Índice de Audibilidad del Habla (Speech Audibility Index, SAI, 14) ya que permite estimar la identificación del habla tanto para alumnos normoyentes como alumnos hipoacúsicos. El SAI se define como el porcentaje de la señal acústica del espectro del habla disponible cuyos niveles superan el ruido de fondo del aula. El SAI queda expresado por la siguiente ecuación:

$$SAI = (RSRE-15)/30*100$$

**SAI** = Índice de Audibilidad del Habla en % de 0% al 100%.

**RSRE** = Relación Señal Ruido Eficiente en dB.

Aunque el SAI no permite deducir la comprensión final de un oyente en particular nos da una estimación de la identificación del habla promedio. Esto es especialmente útil en situaciones en las que no es posible obtener medidas de la inteligibilidad del habla insitu.

El objeto de la presente investigación es llevar a cabo una estimación mediante simulación del impacto de las condiciones acústicas de un aula convencional sobre la identifi-

cación del habla en tres grupos de sujetos; alumnos normoyentes, alumnos con IC y alumnos con IC + FM. Se estima las competencias lingüísticas de identificación del habla de (i) fonemas en sílabas, (ii) palabras aisladas de alta y baja familiaridad y (iii) palabras de alta y baja familiaridad en frases sencillas y complejas.

## Método

### Sujetos

En este estudio participaron 16 alumnos de 1 de EGB del Colegio de Enseñanzas Primarias Castro Fariña, Tenerife, Islas Canarias. 15 de los sujetos son alumnos normoyentes y un alumno con IC. El alumno fue implantado desde los 3 años de edad y lleva 4 años de uso del IC. Su rendimiento académico y desarrollo lingüístico son los apropiados para un niño de su edad. No se observan retrasos significativos atribuibles a la discapacidad auditiva de la alum-

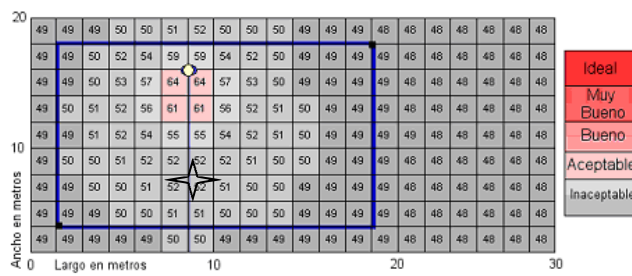
### Material

El implante de la alumno es un Nucleus Coclear. El sistema de FM seleccionado fue un Campus S de la marca Phonak con un Microlink SL adaptado a la petaca del IC. Los datos fueron analizados y almacenados en el software de simulación Soun Field Wizard 2.2

### Características del aula

El aula estudiada posee una superficie de 68 m<sup>2</sup>. El techo está compuesto por forjado bidireccional de hormigón armado formando casetones y revestido de mortero monocapa tipo gotelé. Los suelos son de pavimento de granito con mortero de agame y artesado de hormigón ligero. Las paredes son de bloques de 20 al exterior e interiores con tabicas de 9 con revestimiento de mortero monocapa tipo gotelé. Las ventanas son de cristales sin cámara de aislamiento acústico. En el aula se observa el mobiliario tradicional en este tipo de salas. La superficie amueblada, incluyendo pizarras, cortinas y puertas es de aproximadamente 13 m<sup>2</sup>. Las ventanas incluyen un total de 34 m<sup>2</sup>. En la figura 2 se observa un plano de la estructura del aula representando la posición del profesor y del alumno.

**Figura 2:** Representación esquemática del aula estudiada. Se representa el valor del SAI en cuadrículas de 2 m<sup>2</sup>. El círculo representa la posición del profesor en el aula. La estrella representa la posición del alumno. La leyenda de la derecha indica el grado de aceptabilidad de las condiciones acústicas por cuadrícula



## Procedimiento

Se llevo a cabo una simulación de la identificación del habla en función de las características arquitectónicas del aula. Se llevo a cabo una medición in situ del ruido de fondo del aula y se midió el Tiempo de Reverberación ( $TR_{60}$ ). Se aplico el modelo de acústica de salas y percepción del habla de Boothroy (14) a través del software de simulación Sound Field Wizard 2.2. A partir de este software se obtuvo el SAI y se estimaron los porcentajes de reconocimiento lingüístico para las siguientes condiciones: (i) fonemas en sílabas (ii) palabras familiares en frases sencillas y (iii) palabras noveles en frases complejas para los siguientes grupos de sujetos: (i) alumnos normo-oyentes, (ii) alumnos con IC y (iii) alumnos con IC+FM.

## Resultados

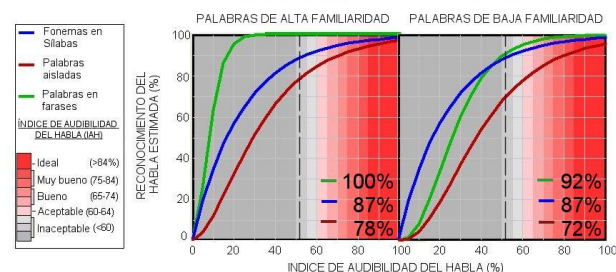
En la Tabla 1 observamos los valores de las características acústicas del aula estudiada incluyendo los valores de RF y  $TR_{60}$ . Para la reverberación del aula se observa una desviación de un 57% y del 36% para el RF respecto a los valores óptimos recomendados por la ASHA (15). El SAI obtenido para este aula es del 52% para la disposición en el aula de la silla y mesa del alumno con IC. Este valor del SAI se considera inaceptable de acuerdo con los baremos establecidos por el modelo Boothroy tanto para los sujetos normooyentes como hipoacúsicos.

**Tabla 1:** Valores de RF y  $TR_{60}$  obtenidos para el aula analizada en este estudio. Se incluyen los valores recomendados por la ASHA (15) y el porcentaje de incumplimiento por parte de este aula.

	Medido	Recomendado	Incumplimiento
Ruido de Fondo (dBA)	55	35	36 %
$TR_{60}$ (mseg)	1,4	0,6	57 %

En la Figura 3 observamos las puntuaciones estimadas para los alumnos normooyentes en las tres condiciones de percepción del habla estudiadas. Los resultados muestran una competencias lingüísticas de identificación por encima del 72% para las seis condiciones analizadas.

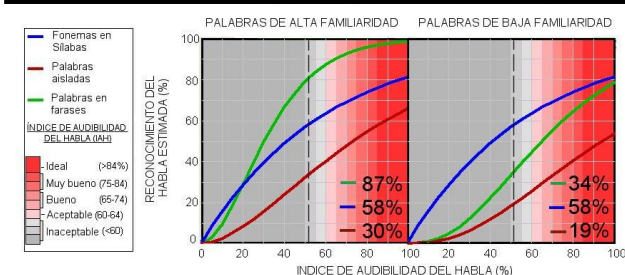
**Figura 3:** Porcentaje de reconocimiento del habla estimada para los alumnos normooyentes. La línea discontinua indica el SAI del 52% obtenido para el aula estudiada.



En la Figura 4 observamos la estimación de percepción

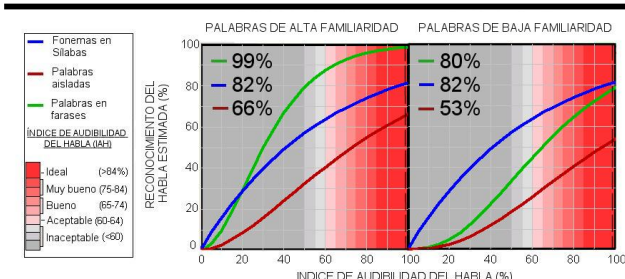
del habla para el alumno con IC. Los resultados mas significativos muestran una puntuación del 34% para la percepción de palabras de baja familiaridad en frases complejas. Las puntuaciones para palabras aisladas familiares y complejas son del 30% y 19% respectivamente.

**Figura 4:** Porcentaje de reconocimiento del habla estimada para el alumno con IC. La línea discontinua indica el SAI del 52% obtenido para el aula estudiada.



En la figura 5 observamos las puntuaciones estimadas para los alumnos con IC+FM. Se obtiene una puntuación del 99% para las palabras familiares en frases sencillas y del 80% para las palabras noveles en frases complejas. Las puntuaciones para palabras aisladas familiares es del 66% y del 53% para las palabras complejas.

**Figura 5:** Porcentaje de reconocimiento del habla estimada para el alumno con IC+FM. La línea discontinua indica el SAI del 52% obtenido para el aula estudiada.



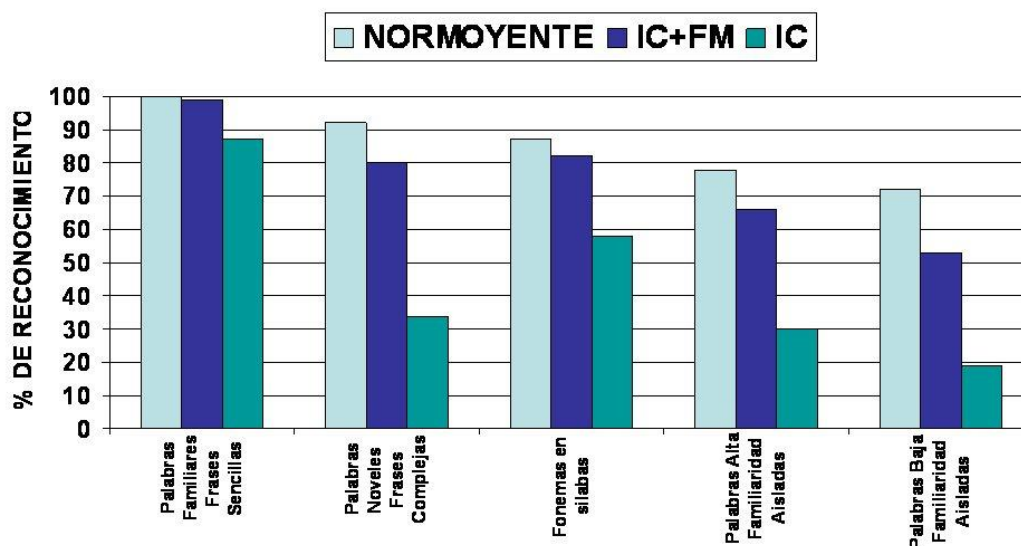
En la Figura 6 observamos las puntuaciones finales obtenidas en las distintas condiciones de identificación del habla. Se observa claramente unas puntuaciones inferiores en la condición con IC frente a las puntuaciones obtenidas por los niños normooyentes y los alumnos con IC+FM. La peor puntuación se obtiene por los alumnos con IC en la condición de palabras de baja familiaridad aisladas.

## Conclusiones

En este estudio se ha llevado a cabo una simulación mediante el programa de análisis acústico del aula Sound Field Wizard 2.2 del rendimiento lingüístico de alumnos normooyentes, con implante coclear y con implante coclear con FM. Los principales hallazgos de este estudio permiten llegar a las siguientes conclusiones:

1. En general, para el grupo de alumnos normooyentes, las condiciones acústicas del aula estudiada son aceptables

**Figura 6:** Porcentaje de reconocimiento del habla estimada para el grupos de alumnos normoyentes, con IC y con IC+FM para las cinco condiciones de identificación del habla analizados en este estudio.



pero no óptimas para la percepción palabras de baja familiaridad presentadas aisladamente o en frases complejas.

2. Las condiciones acústicas de este aula comprometen severamente la percepción del habla de los alumnos con IC en todas las condiciones de identificación lingüísticas estudiadas.

3. La identificación del habla de los alumnos con IC+FM alcanzan puntuaciones próximas al grupo de normoyentes exceptuando la presentación de palabras aisladas de alta y baja familiaridad.

La alta Reverberación y RF de la mayoría de aulas compromete la percepción del habla al disminuir la RSR en los alumnos con IC. Esta compromiso afecta especialmente a palabras noveles y frases complejas. La dinámica escolar de estos alumno precisamente incide en el aprendizaje de nuevos contenidos. El hecho de que en el aula la mayor parte de la interacción sea verbal incide directamente en la adquisición de contenidos nuevos. Hemos de tener en cuenta que la percepción del habla no es un fenómeno de oye o no oye y que por lo tanto al valorar el rendimiento debemos de tener en cuenta las diferencias encontradas en este estudio entre el material verbal novel y el familiar para el alumno.

Los sistemas de FM proveen al alumno de una RSR óptima por lo que garantizamos el máximo aprovechamiento del IC. Aun así es conveniente tener en cuenta que en el mejor de los casos estos alumnos van a seguir teniendo dificultades en la comprensión de material verbal poco familiar o complejo.

## Bibliografía

- Crandell, C., & Smaldino, J.** (2000) Room acoustics for listeners with normal hearing and hearing impairment. In M. Valente, R. Roeser, & H. Hosford-Dunn (Eds.), *Audiology treatment* (pp. 601–637). New York: Thieme Medical.
- French, N., & Steinberg, J.** (1947) Factors governing the intelligibility of speech sounds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 19, 90–119. 1947.
- Zenker, F, Delgado Hernández, J. y Barajas, J.J.** (2003). Características acústicas y aplicaciones audiológicas del promedio del espectro del habla a largo plazo. *Revista de Logopedia, Foniatría y Audiología*, Vol. 23, No. 2, 13-20.
- Crum, D.** (1974). The effects of noise, reverberation, and speaker-to-listener distance on speech understanding. Unpublished doctoral dissertation, Northwestern University, Evanston, IL.
- Dockrell, J., Shield, B. y Rigby, K.** (2004). Acoustic guidelines and teacher strategies for optimizing learning conditions in classroom for children with hearing problems. *ACCESS: Achieving Clear Communication Empolying Sound Solutions*. R.C. Seewald and J.S. Gravel, ed., Phonak AG; Stafa, Switzerland 217-226.
- Siebein, G., Crandell, C., & Gold, M.** (1997). Principles of classroom acoustics: Reverberation. *Educational Audiology Monographs*, 5, 32–43.
- Fu QJ, Nogaki G.** (2005) Noise susceptibility of



cochlear implant users: the role of spectral resolution and smearing. 1: *J Assoc Res Otolaryngol*. Mar;6 (1):19-27. Epub 2005 Apr 22.

**8. Wouters J, Vanden Berghe J.** (2001) Speech recognition in noise for cochlear implantees with a two-microphone monaural adaptive noise reduction system. *Ear Hear*. 22(5):420-30.

**9. Dorman MF, Loizou PC, Fitzke J.** The identification of speech in noise by cochlear implant patients and normal-hearing listeners using 6-channel signal processors. *Ear Hear*. 1998 Dec;19(6):481-4.

**10. Stickney GS, Nie K, Zeng FG.** (2005) Contribution of frequency modulation to speech recognition in noise. *J Acoust Soc Am*;118(4):2412-20.

**11. Schafer EC, Thibodeau LM.**(2004) Speech recognition abilities of adults using cochlear implants with FM systems. *J Am Acad Audiol*. 2004 Nov-Dec;15(10):678-91.

**12. Iglehart F.** (2004) Speech perception by students with cochlear implants using sound-field systems in classrooms. *Am J Audiol*. 13(1):62-72.

**13. Bistafa SR, Bradley JS.** (2001) Predicting speech metrics in a simulated classroom with varied sound absorption. *J Acoust Soc Am*. 109(4):1474-82.

**14. Boothroyd, A.** (2004). Room acoustics and speech reception: a model and some implications. In D. Fabry & C. DeConde Johnson (Eds), Proceedings from the 1st International FM Conference. *ACCESS: Achieving Clear Communication Employing Sound Solutions - 2003* (pp 207-216). Warrenville, IL: Phonak AG.

**15. American Speech-Language-Hearing Association.** (1995). Guidelines for acoustics in educational environments. *Asha*, 37. (Suppl. 14), 15-1

(2006). Los sistemas de frecuencia modulada en alumnos con implante coclear. [en-linea]. *Auditio: Revista electrónica de audiolología*. 1 Diciembre 2006, vol. 3(2), pp. 32-36. <<http://www.auditio.com/revista/pdf/vol3/2/030201.pdf>>

Recibido el 1 de noviembre del 2006.

Aceptado el 23 de Noviembre del 2006.

Publicado (on-line) 1 de Diciembre del 2006.

<http://www.auditio.com/revista>

Contacto con el autor: Rosa Mora Espino. Dpto. de Audiología. Clínica Barajas. 38004 Santa Cruz de Tenerife. España. E-mail: [rosa@clinicabarajas.com](mailto:rosa@clinicabarajas.com)

Para citar este artículo:

Mora Espino, R., Zenker Castro, F., Rodríguez Jiménez, M.C., Mesa Suárez, J.L., Coello Marrero, A.