

Guía para la presentación del poster del proyecto PIISA titulado:

## **“Investigando la percepción binaural”**

Autores:

UGR: Ángel de la Torre, Isaac Álvarez, José Carlos Segura

Profesores IES: Antonio Salcedo, Miguel A. Castillo

Alumnos de secundaria: Alejandra Fernández, Mario Líndez, Ángel F. Ávila, Sara Beltrán, Paula Ortega, Elena Montoro, Mara Pleguezuelos, Sonia López, Sonia García, Antonio Caro

### **Resumen:**

La audición es algo cotidiano, algo con lo que estamos familiarizados todos los días, pero es un fenómeno complicado y en muchos aspectos (en muchos detalles) poco conocido.

Dentro de los fenómenos relacionados con la audición, la percepción binaural es muy interesante y afecta a la calidad de la percepción auditiva, fundamentalmente en dos aspectos:

- La localización de las fuentes sonoras, que permite la percepción espacial y
- La percepción del sonido en condiciones de ruido, que afecta mucho a la inteligibilidad de la voz

Con respecto a la localización de fuentes sonoras, podemos imaginarnos, cuando andamos distraídos, que un sonido fuerte, procedente de una determinada dirección, atrae nuestra atención. En cuanto a la inteligibilidad en condiciones de ruido, cuando estamos en un entorno ruidoso, la audición binaural nos ayuda a concentrarnos en el sonido de interés ignorando el ruido de fondo.

El objetivo de este proyecto ha sido investigar sobre la percepción binaural, realizando experimentos, para evaluar (medir) la importancia que tiene en la audición, tanto para localización de fuentes sonoras como para la inteligibilidad en presencia de ruido. Este interés por el estudio del sonido y la audición está motivado por el impacto que tiene la audición en la calidad de vida. Además de la investigación sobre percepción auditiva, tenemos otros objetivos secundarios:

- Aprender sobre la metodología de la investigación
- Diseñar y realizar experimentos audiológicos con herramientas accesibles y que sean reproducibles fácilmente, de modo que los experimentos además de realizarlos en la facultad, los podemos hacer también en el instituto o en la casa, con nuestros compañeros o familiares (que nos podamos “llevar la ciencia” a la casa o al instituto)
- De esa forma, vamos a intentar involucrar a más alumnos de secundaria, para tener experimentos con más participantes (estadísticamente mejores), para transmitirles la cultura científica, y para transmitirles la importancia de la audición en la vida cotidiana.

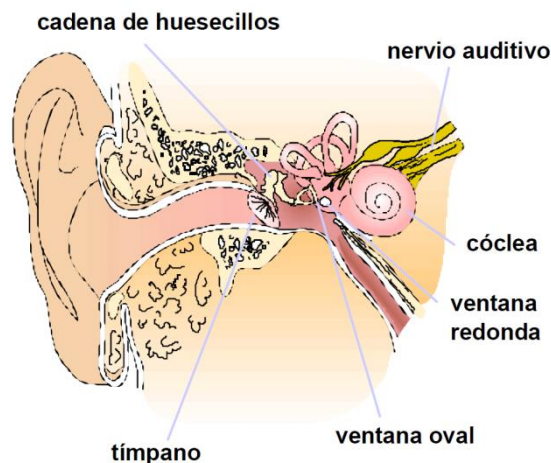
A lo largo de este proyecto, hemos hecho muchas cosas:

- Hemos estudiado el funcionamiento del sistema auditivo y los principios de la percepción binaural

- Hemos diseñado experimentos audiológicos para demostrar el efecto de la percepción binaural y evaluarla.
- Hemos realizado los experimentos con los participantes de este proyecto PIIISA, pero también con participantes adicionales (voluntarios de nuestros institutos).
- Y hemos analizado y discutido los resultados experimentales, llegando a las siguientes conclusiones:
  - Podemos detectar diferencias interaurales de tiempo (o retardos interaurales) de 120 microsegundos (ángulo menor de 15º en localización de fuentes sonoras)
  - Con respecto a la inteligibilidad, gracias a la percepción binaural toleramos una relación señal-ruido (SNR) 6.4 decibelios peor que si tuviéramos percepción monoaural (la binauralidad proporciona una mejora de 6.4 dB)

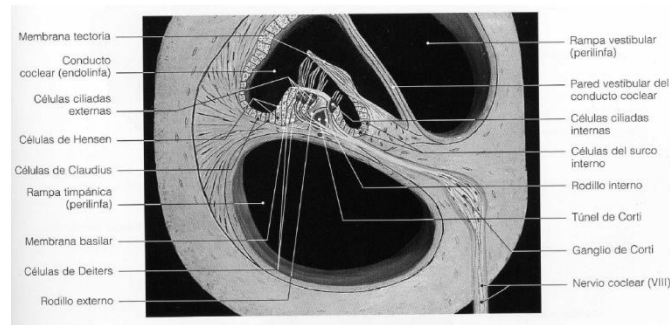
## Introducción:

Anatomía (los órganos) y fisiología (cómo funcionan) de la audición:



- El oído externo recoge la onda acústica (pabellón auditivo), y la conduce hasta el oído medio (conducto auditivo externo).
- En el oído medio, el tímpano vibra al incidir la onda acústica y la cadena de huesecillos (martillo, yunque y estribo) transmite la vibración hasta la cóclea o caracol.
- En el oído interno, en el interior de la cóclea, se propaga una onda a través de los líquidos intracocleares. La onda mueve los cilios de las células ciliadas internas, y esto genera potenciales de acción (impulsos nerviosos) en el nervio auditivo.
- La actividad nerviosa del nervio auditivo se propaga, a través del tronco cerebral, hasta la corteza cerebral. En el cerebro, la actividad nerviosa del nervio auditivo es interpretada como sonido.

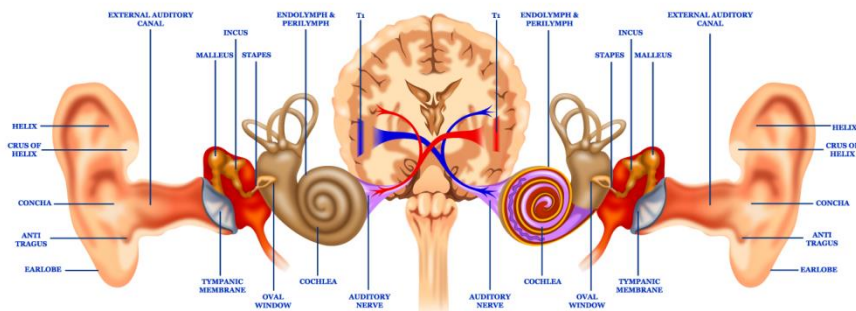
Pero esto es una visión muy simple de la audición. La transducción auditiva (conversión de onda mecánica del interior de la cóclea en potenciales de acción) involucra a las células ciliadas internas y las células ciliadas externas:



Las células ciliadas internas generan impulsos nerviosos sobre el nervio auditivo (son sensoriales), pero las células ciliadas externas reciben impulsos del nervio auditivo y contraen los cilios, limitando el movimiento de la membrana basilar (inhibiendo la percepción de algunos sonidos). Este mecanismo es clave en la percepción del sonido: sintonización de sonidos, percepción en entornos ruidosos, etc. Además, a lo largo de las vías auditivas (nervio auditivo, tronco cerebral, áreas corticales primarias y secundarias) la información nerviosa es procesada en distintos niveles, muchos de ellos no conocidos en detalle.

¿Qué entendemos por percepción binaural? Aquellos aspectos de la percepción auditiva en la que interviene la audición simultánea con ambos oídos. Estos aspectos nos proporcionan una percepción auditiva con una calidad mejorada con respecto a la percepción monoaural.

## BINAURAL HEARING



En la percepción binaural intervienen grupos de neuronas especializadas en detectar diferencias interaurales de intensidad, otras especializadas en las diferencias interaurales de tiempo. Existen también mecanismos que, mediante la actividad de las células ciliadas externas y gracias a las interconexiones nerviosas (fundamentalmente en el tronco cerebral), permiten inhibir la respuesta de determinadas frecuencias en cada uno de los oídos en función del sonido percibido en el otro (inhibición contralateral). Estos mecanismos son complicados y no muy bien conocidos.

Gracias a la percepción binaural es posible la localización de fuentes sonoras, y además la percepción binaural mejora sensiblemente la inteligibilidad de la voz en condiciones de ruido. Esto es algo que resulta evidente cuando existe una lesión en uno de los oídos.

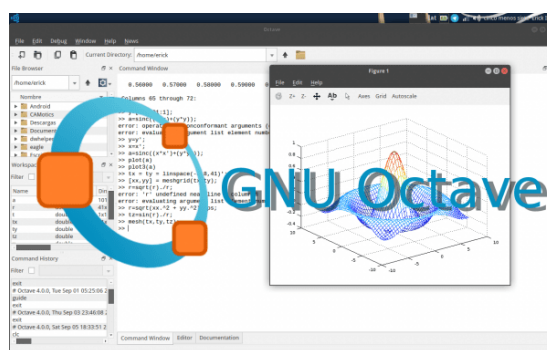
En este proyecto de investigación nos proponemos estudiar experimentalmente la percepción binaural. Para ello hemos recreado escenarios acústicos (mediante reproducción de audio en

estéreo) simulando varias fuentes sonoras en distintas localizaciones e  
preparado los “escenarios sonoros” y hemos pedido a los voluntarios c  
tareas de localización de la fuente acústica y de inteligibilidad.

### Metodología:

Uno de nuestros objetivos ha sido que esta investigación la pudiéramos llevar a casa o a los institutos. Por ello hemos usado herramientas que sean fácilmente accesibles:

- Ordenador personal portátil
- Con tarjeta de audio (mejor externa)
- Auriculares (mejor circumaurales)
- Software para preparar el audio y presentarlo por la tarjeta de audio, para hacer cálculos matemáticos, hacer gráficas.... Software libre (Octave)
- Para preparar las pruebas de inteligibilidad, hemos usado una base de datos de voz (proporcionada por la UGR, 30 MB de datos)
- Para preparar ruido, hemos usado un fichero con ruido “bale” (fichero de audio 4.5 MB, mucha gente hablando simultáneamente)



**Participantes:**

- Los participantes en este proyecto PIISA (15 en total)
- Participantes adicionales (40 más) de nuestro entorno (colegios, institutos, familiares...).

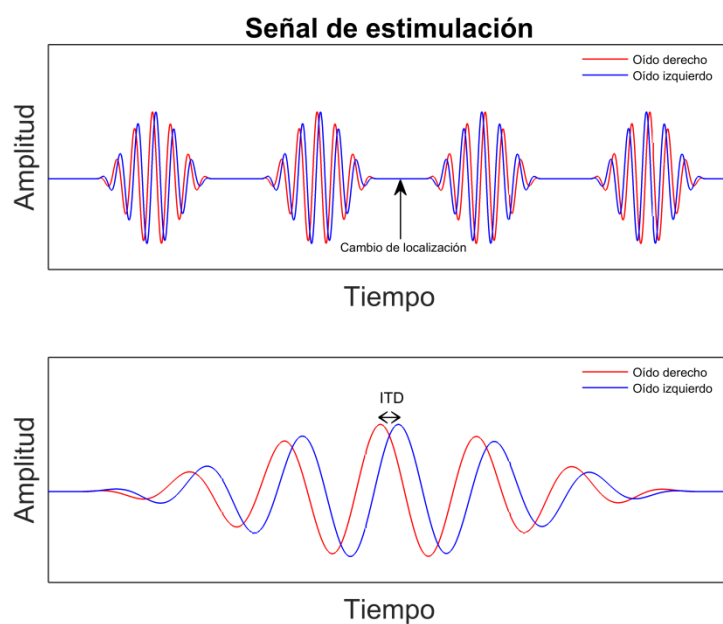
Organización de las sesiones: 5 sesiones en total

- 28-Noviembre: Introducción, presentación del proyecto, nociones sobre audición, procesamiento de señal, objetivos del proyecto.
- 23-Enero: Preparación de las herramientas experimentales. Ordenador, tarjeta de audio y software. Instalación de Octave en los ordenadores de los participantes. Uso de Octave como herramienta matemática (para hacer cálculos, para hacer gráficas). Uso didáctico de Octave (algunos ejemplos de cómo se puede usar para resolver problemas de física o matemáticas). Uso científico de Octave (para procesar datos). Manipulación de audio con Octave.

- 6-Marzo: Preparación de los experimentos con las bases de datos y Octave. Experimentos de localización. Experimentos de inteligibilidad. Demo para motivar a posibles voluntarios. Realización de los experimentos en la ETSIT (Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática y de Telecomunicaciones). Preparación de los participantes para que puedan realizar los experimentos “en casa”.
- 24-Abril: Recogida de resultados. Reducción de datos (preparación de ficheros de resultados para poder analizarlos). Análisis de datos y obtención de resultados. Análisis y discusión de los resultados. Preparación de la exposición.
- 22-Mayo: Exposición: presentación del póster y exposición en el Parque de las Ciencias.

Diseño experimental de la prueba de localización:

- Queremos recrear sonidos como si vinieran de la derecha o de la izquierda con un cierto ángulo. Para ello presentamos sonidos con un cierto retardo entre los oídos.
- Tipo de estímulo acústico: tonos enventanados (con ventana que limita su duración).
- La localización de la fuente da lugar a diferencias interaurales de tiempo y de intensidad (ITD, IID). Vamos a centrarnos en ITD: misma amplitud en OI/OD.
- Para una distancia entre oídos de 20 cm y velocidad del sonido 340 m/s:
  - Fuente en localización con azimuth de 0º corresponde ITD de 0 microsegundos
  - Azimut de 15º, corresponde ITD de 137 microsegundos
  - Azimut de 90º, corresponde ITD de 600 microsegundos (máxima ITD)
- Presentamos tonos enventanados con un cierto retardo entre ambos oídos. A veces OD retrasado con respecto a OI (como si viniera de la izquierda) y a veces al contrario.
- El retardo se hace variar entre 0 microsegundos y 960 microsegundos.
- Preguntamos en qué lado comienza la localización de la fuente.
- Preguntamos si es capaz de apreciar el cambio en la localización de la fuente. Escala de Likert entre 1 (claramente no) y 5 (claramente sí).

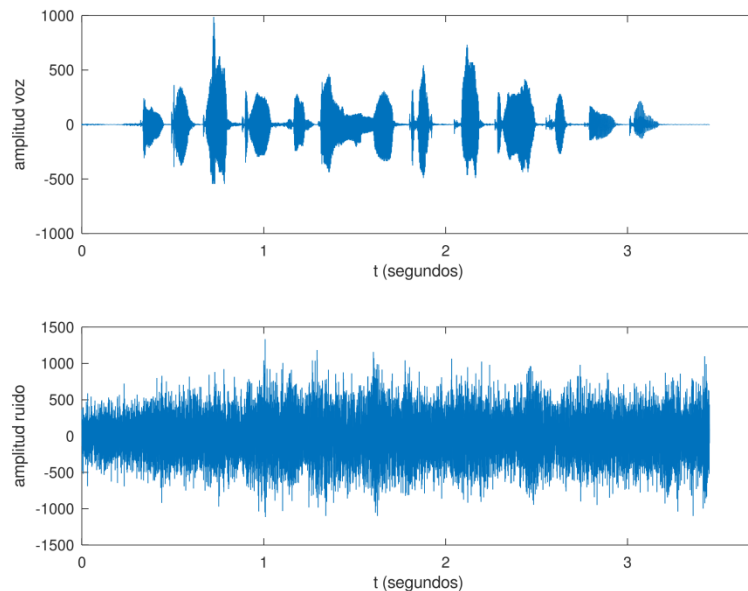


#### Diseño experimental de la prueba de inteligibilidad:

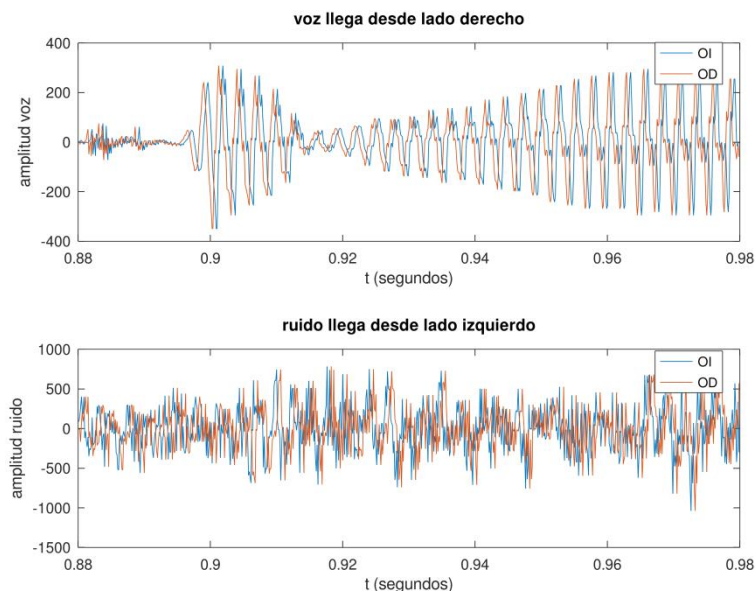
- Base de datos de dígitos conectados: 600 frases, cada una de ellas con 8 dígitos, pronunciadas por 20 locutores (30 frases por cada locutor). Base de datos grabada en condiciones de laboratorio (voz limpia).
- Ruido de tipo bable (mucha gente hablando simultáneamente).
- Podemos mezclar la voz y el ruido poniendo más o menos amplitud en la voz o el ruido para recrear distintos entornos acústicos. La SNR (relación señal-ruido), expresada en dB (decibelios) nos indica si hay poco ruido (SNR alta) o mucho ruido (SNR baja). SNR 0 quiere decir que la potencia de la señal (la voz) y el ruido es la misma. Cada 10 dB implica un factor 10 entre la potencia de la voz y el ruido (SNR=20 dB indica que la potencia de la voz es 100 veces mayor que la potencia del ruido; SNR=-20 dB indica que la potencia del ruido es 100 veces mayor que la potencia de la voz).
- En el experimento de inteligibilidad se ha recreado una localización de la voz con azimut de 0° (desde el frente) y una localización del ruido con un azimut de 90° (desde el lado derecho). La mezcla de intensidades de voz y ruido es similar en ambos oídos y viene dada por la SNR establecida.
- Se han recreado dos escenarios: escenario 1 (monoaural), anulando un canal, en el que no nos beneficiamos de la percepción binaural; escenario 2 (binaural), usando ambos canales, donde nos beneficiamos de la percepción binaural.
- Se han presentado frases en ambos escenarios con SNR barriendo el rango desde +15 dB (voz muy limpia) hasta -25 dB (voz extremadamente ruidosa).
- El voluntario escuchaba cada frase con un cierto nivel de ruido, en un escenario determinado, y debía transcribir la secuencia de dígitos que identifica. A partir de la respuesta y comparando con la transcripción correcta, se hace un recuento de errores. A cada frase se le asigna un porcentaje de acierto entre 0% y 100%.
- Esperamos un comportamiento de tipo sigmoide: para mucho ruido 0%; para poco ruido 100%, con un crecimiento monótono más o menos rápido. Curva “sigmoide”:  $f(x)=1/(1+\exp(-(x-\mu)/\alpha))$ . Las curvas tienen un poco de ruido estadístico (es normal, el nivel de ruido fluctúa en el ruido bable). Hemos detectado algunos sujetos que no se han tomado muy en serio la prueba. Procesamiento de los datos haciendo un ajuste a una curva de tipo sigmoide, y se eliminan sujetos en los que el comportamiento de los datos es incompatible con la sigmoide (que cometen muchos errores cuando la frase está limpia).
- Además de la prueba, hemos preparado una DEMO, para motivar a los posibles voluntarios. En la demo, la localización de la voz era desde el lado derecho y el ruido desde el lado izquierdo. Cuando el voluntario oye la versión monoaural, aprecia la presencia de la voz y el ruido. Cuando oye la versión binaural, tiene la sensación de que en un oído sólo hay voz y en el otro solo ruido, a pesar de que en ambos oídos tenemos las dos señales con la SNR que hayamos establecido. Cuando se le presenta la versión binaural y cree que tiene hay solo voz en un oído y le pedimos que retire el auricular del otro lado, de repente “aparece” el ruido en el oído en el que creía que no había ruido. Esta demo resultó impresionante para todos los participantes.

SERÍA MUY CONVENIENTE PREPARAR ESTA DEMO PARA QUE CUANDO SE PRESENTE EL POSTER, A QUIENES SE INTERESEN POR EL TRABAJO, PUEDAN EXPERIMENTAR CON LA DEMO.

SERÍA MUY CONVENIENTE PREPARAR LAS FICHAS Y EL MATERIAL (ORDENADOR, AURICULARES) PARA QUE QUIENES SE INTERESEN POR EL TRABAJO PUEDAN HACER TANTO LA PRUEBA DE LOCALIZACIÓN COMO LA DE INTELIGIBILIDAD.



Esta figura representa un ejemplo de señal de voz (secuencia de dígitos conectados, arriba) y de ruido tipo babel (abajo) usados para las pruebas

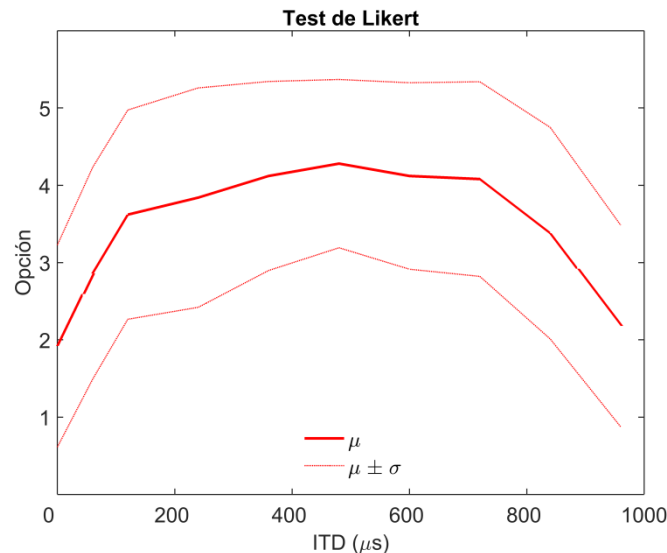


Esta figura muestra cómo se ha recreado el escenario binaural en la demo. Se ha introducido un retardo de 400 microsegundos en el oído izquierdo con respecto al derecho para la voz (como si viniera desde la derecha) y al contrario para el ruido (como si llegara desde la izquierda).

## Resultados:

### Prueba de localización:

- El test de Likert puntúa entre 1 y 5 (1 si no distingue la localización, 5 si la distingue claramente)
- Para ITD 0, no hay diferencia, debería dar la mínima puntuación: 1
- Para ITD 600 microsegundos (localización 90º) debería dar muy buena puntuación: 5
- ¿Qué observamos?
  - Hay un valor alto entre 200 y 800 microsegundos, pero no 5.
  - Hay una caída para valores menores de 120 microsegundos (ángulo de unos 15 grados) que es esperable.
  - Hay una caída para valores muy altos del ITD, y esto es algo que no esperábamos. No hemos visto estudios previos donde se aprecie esto, aunque los estudios de percepción binaural se hacen con altavoces en salas anecoicas (no recreando escenarios con auriculares). En realidad tiene cierto sentido. Un ITD mayor de 600 microsegundos es imposible en la naturaleza (si el ángulo es mayor de 90º, el ITD disminuye).
- Las tendencias son claras, pero la variabilidad de los resultados es grande. El diseño experimental es muy mejorable. El experimento nos indica que hay una capacidad de localización asociada a la binauralidad, pero para obtener medidas fiables habría que diseñar el experimento de nuevo.



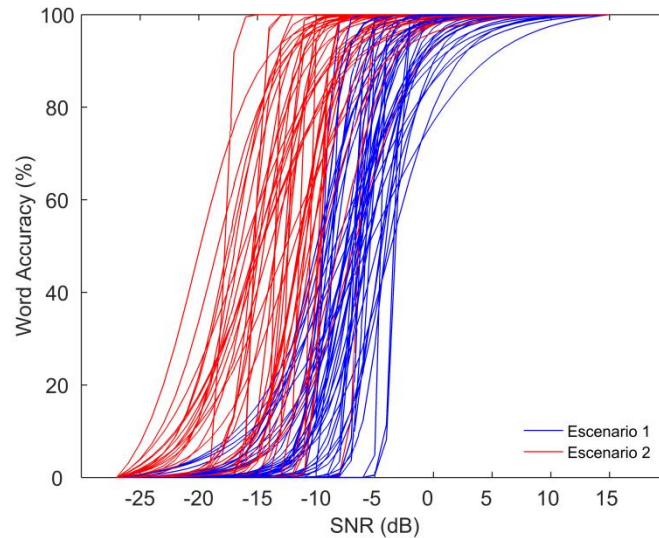
### Prueba de inteligibilidad:

- Comportamiento sigmoide:  $1/(1+\exp(-(SNR-\mu)/\alpha))$ 
  - Alpha: indica cómo de rápida es la transición
  - Mu: indica la SNR crítica en la que pasamos de no acertar a acertar (SNR tal que el acierto es del 50%)
- En el escenario 2 (binaural) la SNR crítica es más baja: tenemos el mismo acierto para condiciones de ruido más duras. Toleramos mejor el ruido. Somos capaces de

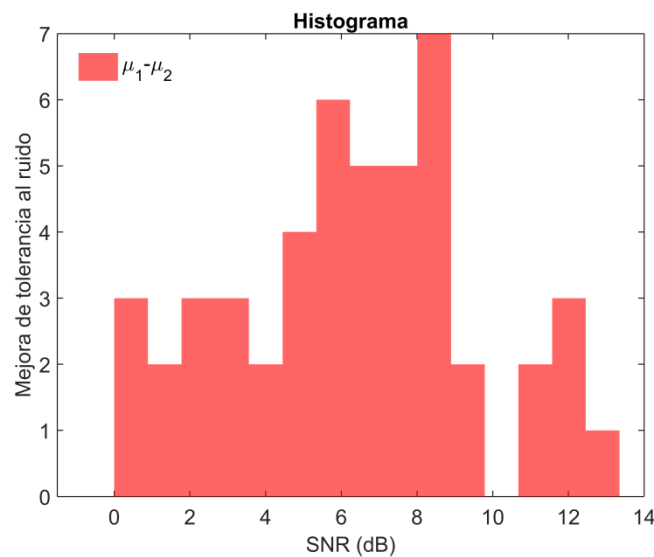


entender igual de bien con más ruido, o equivalentemente, para un mismo ruido entendemos mejor.

- La mejora binaural se manifiesta en el desplazamiento a la izquierda de las curvas rojas con respecto a las azules.



- Para cada voluntario, hemos medido la mejora como el desplazamiento de la SNR crítica:  $\mu_1 - \mu_2$ . El histograma representa cuántos voluntarios hay para una cierta mejora de la SNR crítica.



- Mejora promedio (desplazamiento promedio de SNR crítica) de 6.4 dB
- Algunos voluntarios llegan a una mejora de 12 dB
- Percentiles: El 90% de los voluntarios obtiene mejora entre 0.7 dB y 12.4 dB.
- La binauralidad mejora la inteligibilidad en todos los voluntarios
- Probablemente con algo de entrenamiento auditivo sería más importante la mejora

## Conclusiones:

- En este proyecto hemos aprendido muchas cosas sobre el funcionamiento del sistema auditivo. Hemos descubierto que hay algunos mecanismos complicados que afectan a la calidad de la audición y que además algunos de ellos no se conocen aun con todo detalle, lo que resulta sorprendente teniendo en cuenta que la audición es algo muy cotidiano.
- También nos hemos acercado a la metodología científica. Hemos visto las herramientas necesarias (instrumentación, bases de datos, hardware y software, participación de voluntarios), y el procedimiento para investigar en algún tema: diseño experimental, trabajo de campo, análisis de los resultados, presentación del estudio describiendo los experimentos y los resultados.
- Hemos realizado un proyecto de investigación, no solo participando los alumnos de secundaria y los profesores que nos acompañaban para el proyecto PIIISA, sino que además han participado otros alumnos de nuestros colegios e institutos.
- Como resultado de nuestra investigación sobre binauralidad, mediante recreaciones de audio hemos evaluado el papel de la percepción binaural en la localización de sonidos y en la inteligibilidad de la voz en presencia de ruido, obteniendo que somos capaces de detectar diferencias interaurales de tiempo de 120 microsegundos, y que la percepción binaural proporciona una mejora de 6.4 dB en promedio en la inteligibilidad de la voz en ruido.
- Una de las conclusiones más interesantes de este proyecto es que para investigar no es imprescindible disponer de unos medios muy caros. Con la tecnología cotidiana disponible en los colegios o institutos, es posible realizar estudios como el que hemos presentado.