

DISCURSO DE INAUGURACIÓN  
del curso 2022

**DEL DIAGNÓSTICO AL TRATAMIENTO  
DE LA HIPOACUSIA NEUROSENSORIAL  
UN MILAGRO HECHO REALIDAD CADA DÍA**

*por el Ilmo. Sr.*

**Dr. D. Jaime Marco Algarra**



## Introducción

En noviembre de 2004 tuve el honor de ingresar en esta Real Academia de Medicina de la Comunidad Valencia pero no es la primera vez que leo un discurso inaugural del año académico más adelante les explicaré como ocurrió este hecho.

Quiero en este discurso de la sesión inaugural del curso 2022 de esta Ilustre Real Academia de Medicina de la Comunidad Valenciana llevarles a ustedes la buena nueva sobre la situación del tratamiento de la hipoacusia, es decir la sordera, en la actualidad. Una situación que difícilmente se podría haber adivinado hace algunos años, en realidad algunos más.

¿Qué me dirían ustedes si yo ahora les anunciara que la pérdida completa de la visión de uno de los ojos o de los dos, por una lesión en la retina la pudiéramos restaurar con una cirugía que apenas dura unos sesenta minutos y que la tecnología que aplicáramos supondría un coste de algo menos de veinte mil euros? Pues este hecho tiene lugar todos los días en casi todo el mundo o al menos en los hospitales más preparados y en los Servicios de Otorrinolaringología más avanzados, como es el caso del Hospital Clínico Universitario, La Fe y otros en nuestro país.

La audición es el único de los sentidos que en caso de fallar puede ser substituido de forma completa con la tecnología que tenemos en la actualidad y gracias a la evolución de los sistemas de diagnóstico.

Empezaré relatándoles cuál es la situación actual de la hipoacusia en el mundo para después explicarles cómo hemos avanzado en los últimos años en el diagnóstico de la hipoacusia y por último los avances conseguidos en el tratamiento de la misma.

## **Situación de la hipoacusia en la actualidad**

La OMS (1) estima que, para 2050, casi 2.500 millones de personas vivirán con algún grado de pérdida auditiva, de las cuales al menos 700 millones necesitarán servicios de rehabilitación. La inacción tendrá costos para la salud y el bienestar de los afectados, y también causará pérdidas económicas derivadas de la exclusión de esas personas de la comunicación, la educación y el empleo.

En este momento en que el mundo se enfrenta a la devastación causada por la pandemia de COVID-19, la inversión de esfuerzos y recursos para prevenir y atender la pérdida auditiva está especialmente justificada por varias razones:

Muchos casos de pérdida auditiva se pueden prevenir con medidas efectivas y disponibles. Dado que más de 1.000 millones de jóvenes corren riesgo de sufrir una pérdida auditiva evitable y alrededor de 200 millones padecen infecciones crónicas del oído que son prevenibles o tratables, hay motivos para actuar de forma urgente.

Es posible mejorar la vida de la mayoría de las personas que tienen pérdida auditiva con soluciones tecnológicas y clínicas innovadoras y costo-efectivas. Millones ya se están beneficiando de estos avances. La combinación del poder de la tecnología con estrategias de salud pública bien fundadas puede hacer que estos beneficios lleguen a todas las personas, especialmente a las que se encuentran en zonas del mundo desatendidas y remotas.

Los confinamientos causados por la COVID-19 han puesto de relieve la importancia de la audición y la necesidad de cuidado del oído y la audición (COA). Cuando se nos priva del contacto visual y social, el sentido de la audición nos permite permanecer conectados.

Al ritmo actual de prevalencia, cada año se pierden casi 1 billón de dólares internacionales por la pérdida auditiva no atendida. A menos que se tomen medidas, esta cifra seguirá aumentando en las próximas décadas. Al mismo tiempo, se ha demostrado que invertir en el COA es costo-efectivo, y los go-

biernos pueden esperar una ganancia de casi 16 dólares internacionales por cada dólar invertido.

Esta fase de la historia mundial, en que todos los gobiernos y organismos internacionales están enfocados en la salud pública y el fortalecimiento de los sistemas de salud, ofrece una oportunidad única para integrar el COA en esos sistemas. Integrarlo en este momento beneficiará a millones de personas que corren riesgo de padecer pérdida auditiva o que la padecen, aportará beneficios económicos a los países y promoverá la visión global de la cobertura sanitaria universal.

En el primer Informe mundial sobre la audición (2021) se detallan estos puntos y se hace una imperiosa llamada a la acción. Asimismo, se resumen el estado actual y el alcance de los problemas del oído y la audición, los factores causales y preventivos de la pérdida auditiva y las soluciones clínicas y de salud pública que son costo-efectivas. En el informe se reconocen los desafíos de la implementación, se exponen posibles soluciones y se brinda orientación sobre el camino a seguir mediante la integración dentro de la cobertura sanitaria universal. El documento está estructurado en cuatro secciones con dos anexos en que se presentan pruebas de calidad y detalles de los indicadores.

### **La importancia de oír a lo largo de la vida**

El sentido de la audición es un aspecto clave del funcionamiento en todas las etapas de la vida, y su pérdida, a menos que se atienda adecuadamente, afecta a la sociedad en su conjunto.

Cada individuo tiene una trayectoria auditiva única que está determinada por características genéticas e influida por factores biológicos, conductuales y ambientales a lo largo de la vida. La capacidad auditiva resulta de la interacción entre influencias negativas (causales) y positivas (protectoras). Los factores causales que afectan la capacidad auditiva varían desde eventos adversos relacionados con el nacimiento e infecciones del oído hasta infecciones virales, exposición al ruido, medicamentos ototóxicos y elec-

ciones relacionadas con el estilo de vida. Muchos de estos factores se pueden prevenir a lo largo de la vida practicando una buena higiene del oído, evitando los sonidos fuertes y adoptando un estilo de vida saludable.

Los umbrales auditivos superiores a 20 decibelios (dB) medidos mediante audiometría denotan pérdida auditiva clínica. La pérdida auditiva afecta actualmente a más de 1.500 millones de personas en todo el mundo, de las cuales 430 millones tienen niveles moderados o altos de pérdida auditiva en el oído con mejor audición y es más probable que se vean afectadas negativamente a menos que la afección se atienda de manera oportuna. Esta medida epidemiológica excluye la hipoacusia unilateral y leve, que también plantea desafíos importantes y exige atención en función del nivel de dificultad experimentado. El impacto de la pérdida auditiva no está determinado únicamente por su gravedad, sino también, en gran medida, por la eficacia de las intervenciones clínicas o de rehabilitación adoptadas y la medida en que el entorno responde a las necesidades de las personas afectadas.

Si no se atiende, la pérdida auditiva puede afectar negativamente muchos aspectos de la vida: la comunicación, el desarrollo del lenguaje y el habla en la niñez, la cognición, la educación, el empleo, la salud mental y las relaciones interpersonales.

### **Soluciones a lo largo de la vida: es posible atender la pérdida auditiva**

Todas las personas que corren riesgo de padecer pérdida auditiva o que viven con ella pueden beneficiarse de intervenciones eficaces y oportunas.

La pérdida auditiva se puede prevenir a lo largo de la vida mediante intervenciones eficaces de salud pública. En la niñez, casi el 60% de los casos se deben a causas que pueden prevenirse mediante medidas como la vacunación, la mejora de la atención materna y neonatal y el cribado y el tratamiento temprano de la otitis media. En los adultos, la legislación para el control del ruido y la escucha sin riesgos, así como la vigilancia de la oto-

toxicidad, pueden ayudar a mantener la trayectoria auditiva y reducir el potencial de pérdida auditiva.

La detección es el primer paso para tratar la pérdida auditiva y las enfermedades del oído relacionadas con ella. El cribado clínico en momentos estratégicos de la vida permite que estas afecciones se puedan detectar en la etapa más temprana posible. Con los avances tecnológicos recientes, que incluyen herramientas precisas y fáciles de usar, se pueden detectar las enfermedades del oído y la pérdida auditiva a cualquier edad, en entornos clínicos o comunitarios, y con capacitación y recursos limitados. El cribado puede hacerse incluso en situaciones difíciles como las que se presentan durante la pandemia actual de COVID-19.

La pérdida auditiva se puede atender mediante exámenes sistemáticos para detectar la pérdida auditiva tempranamente en recién nacidos y lactantes, niños y niñas en edad preescolar y escolar, personas expuestas al ruido o a productos químicos en el trabajo, personas que reciben medicamentos ototóxicos y en adultos mayores.

Una vez hecho el diagnóstico, la intervención temprana es la clave para obtener buenos resultados. La mayoría de las enfermedades del oído se pueden curar con tratamiento médico o quirúrgico, que también puede llegar a hacer retroceder la pérdida auditiva ocasionada por ellas. Sin embargo, cuando esa pérdida es irreversible, la rehabilitación puede hacer que las personas afectadas, y la sociedad en general, eviten las consecuencias adversas. En las últimas décadas se han logrado avances considerables al respecto, y ahora se dispone de una variedad de opciones eficaces para atender las necesidades y preferencias de las personas que padecen pérdida auditiva.

La tecnología auditiva, como los audífonos y los implantes cocleares, es a la vez eficaz y costo efectiva, y puede beneficiar tanto a niños como a adultos. Sin embargo, es esencial que su uso vaya acompañado de servicios de apoyo adecuados y terapia de rehabilitación para obtener los resultados deseados, y que cualquier decisión relacionada con el tratamiento y la rehabilitación se base en un enfoque centrado en la persona e involucre a la

familia o los cuidadores del individuo. El uso de la lengua de señas y otros medios de sustitución sensorial (como la lectura labiofacial) es también una opción valiosa para muchas personas sordas; la tecnología y los servicios de asistencia auditiva (como sistema de bucle, el subtítulo y la interpretación en lengua de señas) pueden ampliar aún más el acceso a la comunicación y la educación para las personas con pérdida auditiva.

La atención oportuna y adecuada puede hacer que las personas con enfermedades del oído o pérdida auditiva tengan la oportunidad de desarrollar todo su potencial medicamentos y cirugía, terapia de rehabilitación, acceso a la lengua de señas, tecnología auditiva de apoyo, servicios de subtítulo audífonos e implantes osteointegrados y cocleares.

### **Desafíos para el cuidado del oído y la audición**

Existen una serie de desafíos en el campo del cuidado del oído y la audición, pero es posible afrontarlos. La salud es una inversión, y el costo de no hacer nada es algo que no podemos permitirnos.

Las tendencias demográficas y de población reflejan la alta y creciente prevalencia de la pérdida auditiva en todo el mundo a lo largo de la vida. El número de personas con pérdida auditiva puede aumentar más de 1,5 veces durante las próximas tres décadas, y es probable que más de 700 millones de personas experimenten un nivel moderado o alto de pérdida auditiva. A menos que se tomen medidas, es casi seguro que este resultado derive en un aumento proporcional de los costos asociados.

La falta de información precisa y la mentalidad estigmatizante en torno a las enfermedades del oído y la pérdida auditiva a menudo limitan el acceso de las personas a la atención de estas afecciones. Incluso entre los proveedores de atención médica, es común que falten conocimientos sobre la prevención, la detección temprana y el tratamiento de la pérdida auditiva y las enfermedades del oído, lo que dificulta su capacidad para brindar la atención requerida.



En la mayoría de los países, el COA no está integrado en el sistema nacional de salud, y el acceso a la atención en diferentes niveles de prestación de servicios (comunitario, primario, secundario y terciario) puede constituir un desafío para las personas con enfermedades del oído y pérdida auditiva. Además, el acceso al COA está mal medido y documentado, y el sistema de información de salud suele carecer de indicadores pertinentes.

Quizás la brecha más evidente en la capacidad de los sistemas de salud se encuentre en los recursos humanos. Entre los países de bajos ingresos, por ejemplo, aproximadamente el 78% tiene menos de un otorrinolaringólogo por millón de habitantes; el 93% tiene menos de un audiólogo por millón; solo el 17% tiene uno o más logopedas por millón, y el 50% tiene uno o más maestros para sordos por millón. Incluso en países que cuentan con una proporción relativamente alta de profesionales en el campo del COA, la desigualdad de la distribución y otros factores pueden limitar el acceso a ellos. Esto no solo plantea dificultades a las personas que necesitan atención, sino que también impone exigencias poco razonables al personal que brinda esos servicios.

Estos y otros factores relacionados con la regulación, los precios y la estigmatización se manifiestan en la notable brecha en el uso de audífonos: de las personas que podrían beneficiarse de un audífono, solo el 17% realmente lo usa. La brecha es constantemente alta en todas partes del mundo: varía entre el 77% y el 83% en las diferentes regiones de la OMS y entre el 74% y el 90% en los diferentes niveles de ingresos.

Estos desafíos pueden superarse mediante un proceso estratégico de planificación y priorización dirigido por los gobiernos.

### **El camino a seguir: un marco de salud pública para el cuidado del oído y la audición**

Es posible superar los desafíos mediante un cuidado del oído y la audición integrado y centrado en la persona e implementado a través de un sistema de salud fortalecido.

El COA es un componente integral de la cobertura sanitaria universal. El tercero de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2030 requiere que todas las personas, incluidas aquellas que padecen pérdida auditiva y enfermedades del oído, tengan acceso a servicios de alta calidad sin sufrir dificultades económicas. Esto se puede lograr a través del enfoque del cuidado del oído y la audición integrado y centrado en la persona, incluyendo esos servicios en los planes nacionales de salud y prestándolos a través de un sistema de salud sólido, para que las personas afectadas tengan acceso equitativo a una atención continua a lo largo de la vida.

Las intervenciones de salud pública esenciales para la prestación de servicios de COA a lo largo de la vida se resumen en el acrónimo ESCUCHAR:

**E**nfermedades del oído: prevenirlas y tratarlas

**S**oluciones de comunicación para cada condición

**C**omunidad empoderada y participativa

**U**so racional de los dispositivos de audio y reducción del ruido

**C**hequeo auditivo a lo largo de la vida

**A**cceso a las tecnologías

**R**ehabilitación

Las intervenciones E, CH, A y R se pueden integrar y ejecutar a través de sistemas de salud fortalecidos.

Los países deben determinar qué intervenciones se adaptan mejor a sus necesidades mediante un ejercicio consultivo de priorización basado en pruebas. La implementación basada en el enfoque del cuidado del oído y la audición integrado y centrado en la persona requiere acciones en todos los niveles del sistema de salud:

orientación y planificación de políticas con un enfoque colaborativo, incluido el establecimiento de objetivos realistas y con plazos determinados; financiamiento sostenible y protección de la salud para que las personas accedan a servicios de COA de alta calidad sin empobrecerse;

desarrollo de la capacidad del personal, ampliando los programas de formación para el personal de COA y dividiendo tareas con los trabajadores que no pertenecen a este ámbito y capacitándolos;

información y datos de salud que ayuden a determinar las necesidades y prioridades de la población, encontrar brechas y hacer un seguimiento del progreso hacia las metas establecidas;

acceso equitativo a tecnologías auditivas de alta calidad, que podría aumentarse incluyéndolas en las listas gubernamentales de dispositivos esenciales;

acceso a equipos de diagnóstico y quirúrgicos seguros y de alta calidad, así como a los medicamentos necesarios para el COA;

investigación pertinente y orientada a generar impacto, que respalde la implementación del cuidado del oído y la audición integrado y centrado en la persona a lo largo de la vida.

La implementación de estas intervenciones de salud pública a través del sistema de salud no solo mejorará la vida de las personas afectadas y sus familias, sino que también generará importantes beneficios económicos e incrementará la productividad. Se estima que para ampliar el COA en los próximos 10 años integrando las intervenciones E, CH, A y R en los sistemas de salud solo será necesaria una inversión adicional anual de 1,33 dólares per cápita. Los logros resultantes en materia de salud en un período de 10 años evitarán casi 130 millones de AVAD (años de vida ajustados en función de la discapacidad) y producirán una ganancia de casi 16 dólares por cada dólar invertido en el COA.

La ampliación de los servicios de cuidado del oído y la audición para atender al 90% de la población para 2030

REQUIERE una inversión adicional anual de \$1,33 per cápita

EVITA 130 millones de AVAD

BENEFICIA a 1.400 millones de personas

RINDE \$16 por cada \$1 invertido

## **Metas de ampliación del cuidado del oído y la audición para 2030**

A fin de dinamizar la acción mundial con respecto al COA, la OMS ha definido indicadores de seguimiento y establecido objetivos ambiciosos pero realistas que apuntan a lograr los siguientes objetivos:

Un aumento relativo del 20% en la cobertura efectiva de los servicios de cribado auditivo neonatal.

Un aumento relativo del 20% en la cobertura efectiva de adultos con pérdida auditiva que utilizan tecnología auditiva (por ejemplo, audífonos e implantes).

Una reducción relativa del 20% en la prevalencia de enfermedades crónicas del oído y pérdida auditiva no atendidas en niños en edad escolar, de 5 a 9 años.

Recomendación: hacer que el cuidado del oído y la audición sea accesible para todos.

El cuidado del oído y la audición integrado y centrado en la persona debe estar disponible y ser accesible para todos, donde y cuando sea necesario, sin causar dificultades económicas.

Las intervenciones de COA deben integrarse sistemáticamente en los planes nacionales de atención de la salud, teniendo en cuenta las necesidades y prioridades de cada país.

Todas las partes interesadas en el ámbito de la salud pública deben tomar las siguientes medidas:

### **Ministerios de salud**

1. Incluir el cuidado del oído y la audición integrado y centrado en la persona en la cobertura sanitaria universal.
2. Fortalecer los sistemas de salud para brindar cuidado del oído y la audición integrado y centrado en la persona en todos los niveles de atención.

3. Realizar campañas de concienciación para combatir ciertas actitudes y el estigma relacionados con las enfermedades del oído y la pérdida auditiva.
4. Determinar metas, monitorear las tendencias nacionales y evaluar el progreso.
5. Promover investigaciones de salud pública de alta calidad sobre el COA.

### **Organizaciones internacionales y no gubernamentales**

1. Ajustarse a los objetivos mundiales de la OMS para el COA y ayudar a monitorizarlos.
2. Adoptar medidas para mejorar los conocimientos, actitudes y prácticas con respecto al COA.
3. Estimular la generación y difusión de conocimientos sobre el COA.
4. Participar activamente en la acción global para el COA.

Partes interesadas en el cuidado del oído y la audición, incluidas asociaciones profesionales, organizaciones de la sociedad civil y entidades del sector privado.

1. Apoyar a los gobiernos nacionales y a la OMS en la prestación y la monitorización del COA.
2. Contribuir a la generación de conocimientos sobre los aspectos de salud pública de las enfermedades del oído y la pérdida auditiva.
3. Colaborar para que todas las partes interesadas puedan contribuir al COA y tener una visión común al respecto.
4. Resaltar la importancia del COA, la necesidad de ese cuidado y los medios para implementarlo, y defender su priorización.

El informe mundial de la audición termina con las siguientes conclusiones:

1. La cantidad de personas que viven con pérdida auditiva y enfermedades del oído no atendidas es inaceptable.
2. Las acciones oportunas pueden prevenir y atender la pérdida auditiva lo largo de la vida.
3. Invertir en intervenciones costo-efectivas beneficiará a las personas con pérdida auditiva y reportará beneficios financieros a la sociedad.

4. Los países deben actuar para integrar el cuidado del oído y la audición centrado en la persona en los planes nacionales de salud para lograr la cobertura sanitaria universal.

La historia del diagnóstico de la audición que les quiero relatar comienza a principios de los años sesenta y nuestro país se incorpora desde el primer momento a esta aventura por la voluntad y tesón del Profesor Jaime Marco Clemente, mi padre, a la sazón Catedrático de Otorrinolaringología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Sevilla introduciendo la detección de los potenciales auditivos de la corteza cerebral en la clínica diaria tras varios años de investigación en diversos animales y voluntarios humanos. Fue la primera vez que se podía diagnosticar la sordera en recién nacidos, corrían los 1964 a 1969.

Los trabajos de investigación en años posteriores permitieron obtener resultados objetivos muchos mas fiables siguiendo técnicas similares pero aplicadas al resto de la vía auditiva.

### **Potenciales evocados auditivos**

Potenciales evocados auditivos y fundamentalmente del tronco cerebral. Se trata de lo que actualmente conocemos como potenciales evocados auditivos del tronco cerebral; objetivos y que no se alteran con el sueño ni la anestesia como ocurría con los anteriores potenciales corticales. Esta técnica se difundió rápidamente por nuestro país y por Europa y centro y sur América. El desarrollo de esta técnica y sus resultados formaron parte del discurso de recepción como académico del Prof. Jaime Marco Clemente de la Real Academia de Medicina de Sevilla “La Audiometría por Respuesta Evocada” que tuvo lugar el día 14 de junio de mil novecientos setenta y cinco.

A pesar de haber transcurrido más de 60 años desde que Shomer y Feinmesser (2) registraran, mediante electrodos en vertex y mastoides, una serie de ondas en los primeros 10 milisegundos después del estímulo acústico, el registro de los potenciales evocados auditivos del tronco constituye

uno de los procedimientos más empleados en el estudio de la vía auditiva. Su origen a distintos niveles en las estructuras neuronales del tronco encefálico la numeración de estas ondas con números romanos, tal y como las conocemos hoy en día se debe a Jewett y cols. (3).

### **Descripción y origen de los PEATC**

La respuesta está formada por una serie de 5 a 7 ondas positivas en el vertex, separadas por alrededor de 1 milisegundo.

La onda I la vemos como un pequeño cambio de polaridad positiva cuando un electrodo situado en el vertex lo referenciamos a la mastoides o al lóbulo del pabellón auricular. El hecho de que su polaridad cambie cuando el electrodo de mastoides o lóbulo se referencia a otra localización no cefálica, parece confirmar su origen en el nervio coclear (4) y, en el mismo sentido se apunta cuando, al seccionar este nervio a la salida del conducto auditivo interno, desaparecen las restantes ondas de la respuesta (5). Por el contrario la onda II no cambia de polaridad cuando modificamos la situación del electrodo de referencia una posición no cefálica, como ocurría con la onda I y su latencia parece corresponder a la actividad de núcleo coclear (6). Esto último nos indica que su generador se encuentra en un plano más cefálico que la anterior. La onda III es uno de los componentes de la respuesta de mayor consistencia y reproductibilidad. La contribución de las estructuras del tronco del encéfalo más importantes a su génesis parecen estar ubicadas en el complejo olivar superior (5). Tanto las lesiones que afectan de forma más o menos restringida al lemnisco lateral producen una modificación en la onda IV en el animal, lo que hace pensar que el generador de dicha onda corresponda a este nivel (7): en lo que afecta a los generadores de la onda V, la más estable y persistente de los componentes de los potenciales del tronco, las lesiones experimentales del lemnisco lateral y por ende de los tubérculos cuadrigéminos llevan consigo modificaciones importantes en la onda V.

Lo anterior no significa que los orígenes de los diferentes componentes de esta respuesta electrofisiológica estén claramente definidos espacialmente.

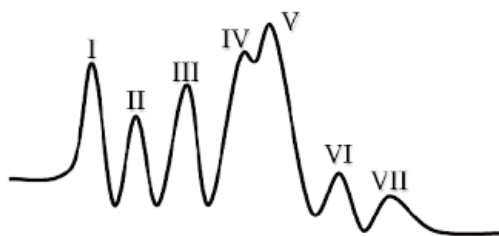


Figura 1. Registro normal de unos potenciales auditivos del troco cerebral. Los picos hacia arriba indican positividad en verte. Con números romanos la denominación de las distintas ondas que componen la respuesta: I a V.

La respuesta sería claramente negativa si tenemos en cuenta la complejidad de la vía auditiva y el número de escalones sinápticos implicados en su funcionamiento. No obstante, grosso modo, si hay una cierta concordancia, desde el punto de vista clínico, entre los niveles asignados a los generadores de las distintas ondas.

### Respuesta normal

A una intensidad de 70 dB sobre el umbral de audición la respuesta está formada por una serie de 4 a 7 ondas positivas en el vertex, de las que las cinco primeras son las más constantes (figura 1). La onda IV y la V forman un complejo con una morfología variable. En ocasiones se encuentran claramente separadas y en otras la IV constituye un pico que forma parte de la V, mucho más amplia. Las latencias de cada componente, como los podemos ver en la tabla 3, oscilan entre 1,6 mseg. para la onda I y 5,6 para la V. El coeficiente de variación oscila entre el 5,5% para la onda I y el 2,5 para la V. En el diagrama de la (figura 2) vemos los valores correspondientes a las latencias de cada onda que como se puede comprobar, son considerablemente estables.

Otra de las características de los potenciales del tronco es que sus componentes tienen un comportamiento diferente en relación con la intensidad del estímulo. La onda V es, como señalábamos antes, la más persistente.



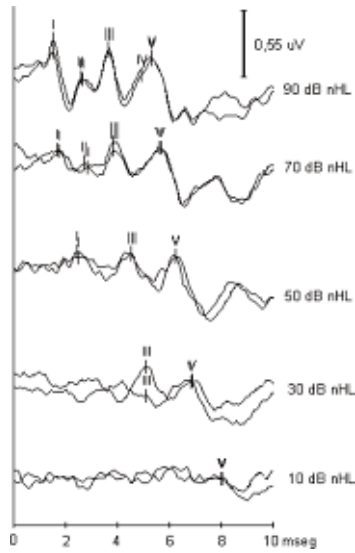


Figura 2. Relación intensidad del estímulo con la latencia de la onda V. A menor intensidad aumento de la latencia.

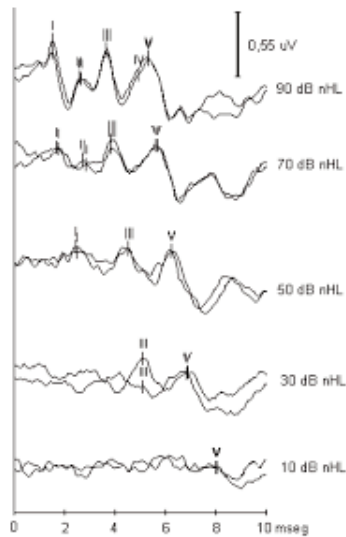


Figura 3. Relación amplitud intensidad. A menor intensidad menor amplitud de la respuesta, llegando a desaparecer esta.

mientras que las ondas I y II desaparecen rápidamente cuando disminuye la intensidad. La III es el componente más estable después de la V.

### **Relación entre la intensidad del estímulo, la latencia y la amplitud**

A medida que disminuye la intensidad del estímulo la latencia de la onda V aumenta (figura 2). Por el contrario a menor intensidad del estímulo menor amplitud de dicha onda (figura 3), lo mismo ocurre con el resto de los componentes de la respuesta que a baja intensidad llegan incluso a desaparecer. Cuando la intensidad se aproxima al umbral de audición, la latencia puede aproximarse a los 8 mseg y la identificación de la onda V requiere de varias repeticiones de la prueba para poder diferenciarla del ruido de fondo, dado el escaso voltaje a estas intensidades.

### **Influencia de la frecuencia de estimulación sobre la respuesta**

La frecuencia de estimulación tiene una importancia considerable desde el punto de vista clínico. A mayor frecuencia menor amplitud, mayor latencia y mayor periodo de latencia entre ondas. Con frecuencias de estimulación superiores a 50 Hz se producen cambios considerables en la respuesta, no obstante no hemos encontrado estos cambios por debajo de frecuencias de estimulación de 20. Esto es importante tenerlo en cuenta para la determinación del umbral de audición, ya que es usual emplear frecuencias de estimulación altas para este propósito. El hecho descrito no es más que la evidencia de una adaptación a nivel periférico y central. Los generadores más afectados son los que corresponden a las ondas I y II y en menor medida la III (8).

### **Registro ipsilateral y contralateral**

Si cambiamos la disposición de los electrodos de registro, de vertex a mastoides ipsilateral por vertex a mastoides contraria al oído estimulado, se

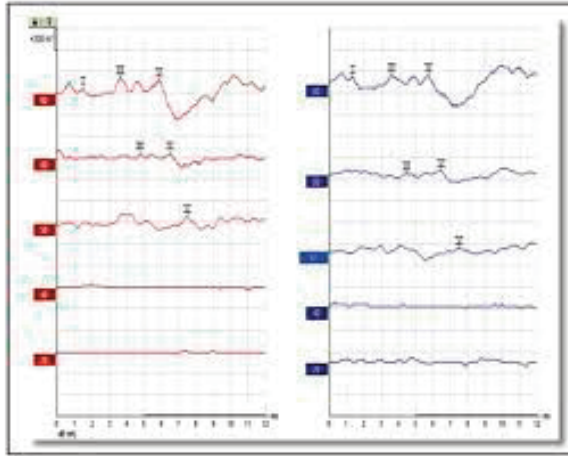


Figura 4. Cambios en la respuesta con estimulación del oído contralateral. Los cambios afectan de forma fundamental a la primera parte de la respuesta. Contralateral trazado inferior(C).

van a producir una serie de cambios en la morfología de la respuesta que afectan en particular a las primeras ondas de esta (9). La onda I, que a intensidades elevadas se puede identificar fácilmente, deja prácticamente de ser visible cuando empleamos la referencia a la mastoidees contralateral (figura 4). Por el contrario las ondas II y III disminuyen su amplitud hasta convertirse en ocasiones en una sola onda. De igual forma se han descrito pequeños cambios de latencia en dichas ondas con registro contralateral al oído explorado (10).

Cambios en la respuesta con estimulación del oído contralateral. Los cambios afectan de forma fundamental a la primera parte de la respuesta. Contralateral trazado inferior(C).

### **Estimulación bilateral o unilateral**

La estimulación bilateral produce un cambio significativo en los potenciales del tronco que se traduce fundamentalmente en una mayor amplitud de la respuesta (figura 5). La onda V de los potenciales del tronco muestra un cambio en la amplitud (10). Este cambio no se corresponde a la suma de

lo que serían dos generadores situados en ambas vías Jewett (11) en experimentos en gatos denominó este hecho como interacción biaural. Si comparamos la situación de estimulación monoaural con la biaural, el aumento de amplitud de la onda V correspondería a un 68,7% si la intensidad es la misma en ambos oídos (12). Con una diferencia de intensidad de 10 dB se convertiría en 44% y revertiría a la situación monoaural cuando la diferencia es de 20 dB. Por el contrario, la onda III disminuye su amplitud por debajo de la que corresponde a la estimulación monoaural con diferencias de intensidad de 10 y 20 dB en los dos oídos. Esto puede deberse a fenómenos inhibitorios a este nivel.

### **Efecto de la edad en los potenciales del tronco**

Los potenciales del tronco pueden registrarse a cualquier edad desde el momento del nacimiento. Ya en la década de los 70 se llamó la atención por la gran prevalencia de hipoacusias de distinto grado en niños que requerían cuidados intensivos en el nacimiento (13) En los primeros estudios llevados a cabo se pudo comprobar que a menor edad, tomando como referencia el nacimiento del niño, mayor latencia de la onda V. Por otra parte se comprobó que en el recién nacido la respuesta no tiene la misma morfología del adulto. A esta edad la respuesta está formada en la mayoría de los casos por dos a tres ondas, no adquiriéndose el patrón típico hasta los 3 meses y normalizándose las latencias en relación con el adulto a los 12 meses (14). El intervalo I-V o tiempo de transmisión central a nivel del tronco es sensiblemente mayor que en el adulto (15) con una media de 5 mseg, y una desviación estándar de 0,2. La latencia de la onda V a 70 dB tiene una media de 7,2 mseg. lo que es sensiblemente más que en el adulto. El umbral normal, según nuestra experiencia el recién nacido puede establecerse alrededor de 20-30 dB.

### **Otros factores**

Factores como el sexo (16), la temperatura corporal (17), el perímetro cefálico la medicación empleada para la sedación de los pacientes pueden

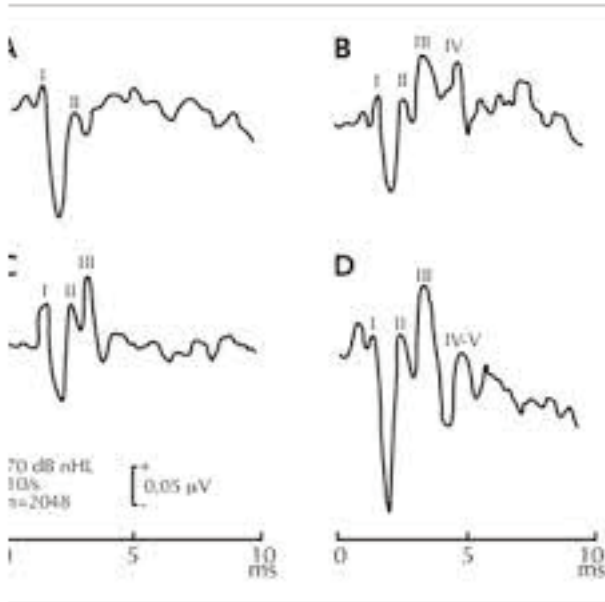


Figura 5. Aumento de la amplitud como resultado de la estimulación bilateral. El registro inferior (S) corresponde a la estimulación simultánea de ambos oídos. El cambio en amplitud con estimulación bilateral podemos observarlo tanto a altas como a bajas intensidades.

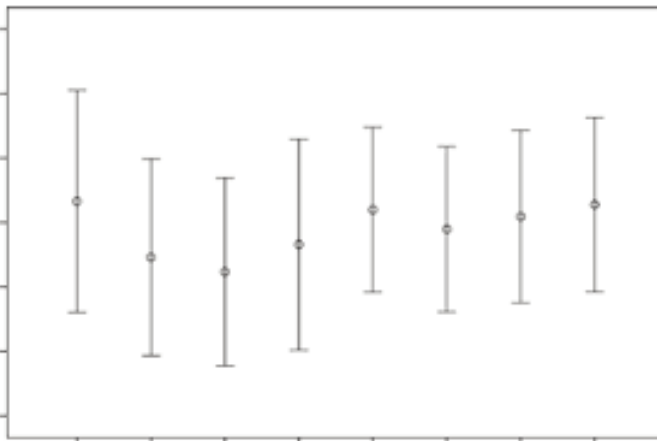


Figura 6. Determinación del umbral de audición en un niño de 13 meses. Las características de la respuesta son similares a las de un adulto.

influir en los registros de los PEATC. En este último caso los fármacos empleados para usos clínicos no suelen producir cambios significativos en las latencias de la respuesta, ello no obsta para que concentraciones.

## **Aplicaciones clínicas**

### **Determinación del umbral de audición**

La aplicación del estudio de los potenciales del tronco cerebral a la objetivación del umbral audiométrico ha sido una de las principales metas de la obtención de estos registros electrofisiológicos en la clínica. Como se puede comprender el mencionado objetivo es más importante en el caso de los niños de corta edad (figura 6) y esta exploración forma parte de la batería de pruebas empleadas en su estudio.

Uno de los principales problemas con que se encuentra el audiólogo, al intentar extrapolar el umbral del registro de unos potenciales del tronco a lo que sería un audiograma tonal, deriva de la propia naturaleza de la respuesta. La mayor parte de sus componentes, registrados con electrodos de superficie, tienen una amplitud inferior a un microvoltio. Esto lleva consigo la necesidad de que el estímulo empleado genere una descarga neuronal lo más sincrónica posible.

Con esta finalidad el click constituye un breve sonido, que se obtiene haciendo pasar al auricular un impulso eléctrico de alrededor de 100 microsegundos de duración. La duración del click no se corresponde con exactitud con el estímulo eléctrico que lo produce, ya que dependerá de las características técnicas del transductor. Por otra parte en el espectro acústico de un click, en la mayoría de los equipos tienen una mayor participación las frecuencias comprendidas entre los 2 a 4 KHz. Si sumamos lo heterogéneo de la distribución acústica de la energía del estímulo, con la peor sincronización de las zonas apicales de la cóclea, podemos entender que la selectividad frecuencial del estímulo no es ideal, cuanto más nos desplazamos hacia las frecuencias graves. Se puede entonces considerar que en el caso de una curva audiométrica sin grandes diferencias, puede ser muy

similar el umbral de los PEATC al del audiograma. En caso contrario el umbral obtenido mediante los potenciales sería similar al de las frecuencias de 2 KHz en adelante.

Los tonos puros son, sin duda, el estímulo más selectivo en lo que a frecuencias se refiere y para confeccionar un audiograma, sería la mejor elección. El problema que tiene un tono puro como estímulo sería fundamentalmente su duración y el periodo de ascenso y descenso. Una onda o tren de ondas sinusoidales que alcanza bruscamente su máxima intensidad partiendo de cero, va a tener al comienzo una gran diseminación frecuencial de energía acústica que se conoce con el nombre de estímulo transitorio. Para evitar esta falta de concreción en cuanto a frecuencia se emplean en la clínica los tonos de corta duración "burst", con un periodo de ascenso y descenso concreto.

Otro de los procedimientos utilizados es el empleo de un enmascaramiento selectivo de distintas particiones cocleares (19, 20, 21) con ruido filtrado. El ruido produce una activación coclear, pero falta de sincronización, lo que hace que la respuesta no pueda ser promediada. Si este ruido enmascarante lo filtramos con un filtro de paso alto, enmascararemos a demanda determinadas zonas de la cóclea. El uso simultaneo de un estímulo tipo click o burst únicamente actuaría a nivel de las zonas cocleares no activadas por el ruido filtrado. Otra modalidad de combinación de ruido con estímulo (22, 23) sería el empleo de un ruido enmascarante en muesca "knotch noise-masking" El estímulo generaría una respuesta que correspondería únicamente a la zona de la cóclea que queremos.

*Estimulación por vía ósea.* Con el objetivo de valorar la existencia mayor o menor del Rinne audiométrico es posible completar el registro por vía aérea con el de la vía ósea. Para ello tenemos que calibrar el vibrador óseo y retrasar el periodo de análisis de forma que evitemos el artefacto eléctrico del comienzo de este. La valoración de la audición por vía ósea es particularmente útil cuando estudiamos niños con malformaciones de conducto auditivo externo o de la cadena timpano-oscicular.

La combinación de tonos puros por vía aérea y ósea para el registro de los potenciales del tronco es un método que ha demostrado su utilidad en las unidades de de audiología (24) y en particular en la ampliación del estudio de las pérdidas de audición detectadas en el cribado neonatal (25).

### **Hipoacusias de transmisión**

*Estimulación por vía aérea.* Los valores de las latencias de pacientes afectos de hipoacusias de transmisión indican un marcado aumento de estos en relación con el grado de hipoacusia, comparados con la población normal y a las mismas intensidades de estimulación sobrepasando en mayor o menor medida los valores estándar para cada intensidad. Esto último corresponde a registros obtenidos con clicks sin filtrar. Como es lógico si empleamos tonos puros los parámetros varían. En principio cada unidad de audiología debe tener calibrados los estímulos que emplea, estudiando un grupo de sujetos normales que nos van a servir de referencia para valorar nuestros resultados con los pacientes.

La estimulación por vía ósea genera una respuesta que se encuentra dentro de los límites de la normalidad, las latencias se hallan dentro de los valores estándar.

En los pacientes en que la pérdida es uniforme para todas las frecuencias se puede hacer una predicción bastante aproximada del Rinne audiométrico de cada sujeto. Distintos son los casos en que los umbrales para unas y otras son claramente asimétricos, aquí depende del tipo de estímulo que empleemos y de la selectividad de este. Con tonos puros la aproximación al umbral mejora, pero hay que buscar un cierto compromiso con el tiempo dedicado a esta exploración, si tenemos en cuenta que el estudio de la vía aérea y ósea puede ser excesivo desde el punto de vista de la clínica. En nuestro grupo nos es particularmente útil el empleo de los potenciales de estado estable para completar los resultados obtenidos con clicks sin filtrar en las frecuencias de 1KHz y 500 Hz.



## Hipoacusias cocleares

A diferencia de las hipoacusias de transmisión, en las hipoacusias cocleares unilaterales no suelen existir diferencias sustanciales en los valores de las latencias correspondientes al oído hipoacúsico con respecto al sano, en particular a intensidades elevadas (figura 6). Distinto es el caso en que analizamos la curva intensidad-latencia para las intensidades menores (26).

Una forma distinta de sensibilizar la prueba sería, en casos de hipoacusias unilaterales, comparar las latencias de ambos oídos a una misma intensidad sobre el umbral de audición de cada oído. Por poner un ejemplo si el oído afecto presenta una hipoacusia de 50 dB de media para las frecuencias de 2 KHz en adelante y comparamos la respuesta obtenida del oído normal a 20 dB con la del oído hipoacúsico a 70 dB, que son 20 dB sobre su umbral de audición, estamos estudiando ambos oídos a 20 dB sobre su umbral y comprobaremos que las latencias son menores en el oído hipoacúsico (8).

En el caso de hipoacusias cocleares bilaterales podemos comparar también el umbral de la población normal con los niveles medios de pérdida auditiva de cada oído con esta patología. Si simplemente valoramos las cifras de latencia de la población normal comparada a los casos de hipoacusia. Estos pueden estar dentro de los límites de la normalidad o encontrarse elevados.

El interés de diferenciar una hipoacusia de tipo coclear de una retrococlear en un adulto es considerable, pero sin duda lo es más cuando se trata de un niño en el que la información objetiva es esencial. Aquí el poder realizar un diagnóstico topográfico tiene un interés aun mayor. Es también evidente que la existencia de una asimetría en la curva audiométrica con mayor caída en las frecuencias agudas trae aparejada un aumento en la latencia de la onda V.

Otro de los procedimientos que permiten valorar de forma más precisa la existencia de una hipoacusia coclear es el análisis del intervalo I-V. El problema adicional de no poderse identificar en los potenciales del tronco la onda I en muchas ocasiones aconseja la práctica de la electrococleografía para poder identificarla con claridad.

Más difícil de valorar es la relación intensidad —amplitud que, en el caso de las hipoacusias cocleares, tiene también un comportamiento distinto al de las hipoacusias de transmisión—. En estos casos las amplitudes a intensidades próximas al umbral de audición tienden a ser mayores de lo que le

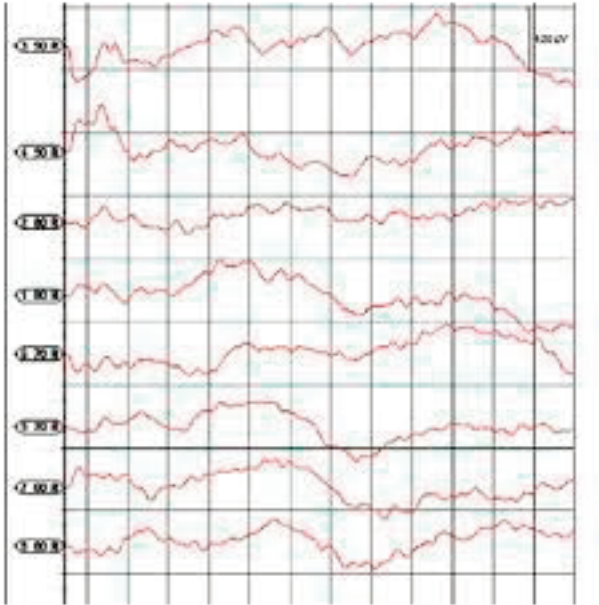


Figura 7. Neuropatía auditiva. Existencia de microfónicos cocleares y ausencia de PEATC.

correspondería a la población normal. El problema aquí es que la variabilidad de las amplitudes es considerablemente mayor que las latencias.

### Patología retrococlear y potenciales del tronco cerebral

Si repasamos la literatura es fácil entender que, antes del extraordinario avance que han experimentado los medios de diagnóstico por imagen, el interés del investigador clínico se dirigía fundamentalmente a el diagnóstico precoz de determinados procesos cuya sospecha y detección suponía un auténtico reto.

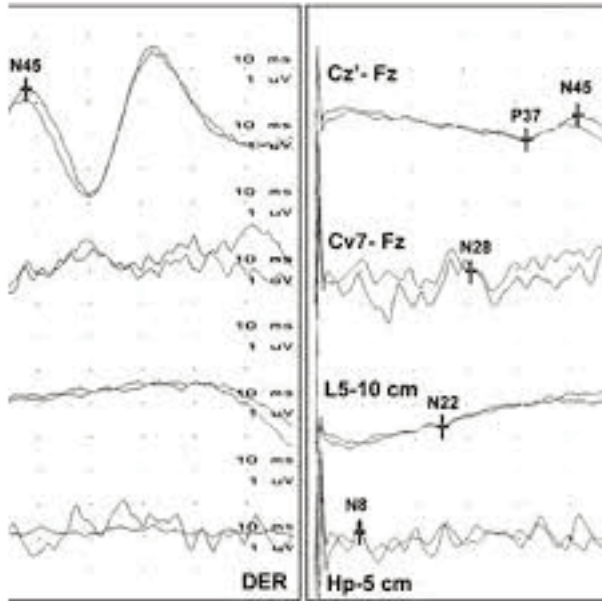


Figura 8. Ausencia de PEATC.

Es el caso de determinados tumores como los que asentaban en el ángulo ponto-cerebeloso o de patologías neurológicas como la esclerosis múltiple. Después del periodo de evolución de cualquier procedimiento diagnóstico, hoy en día el estudio de los potenciales del tronco ha demostrado ser una magnífica arma dentro del arsenal con que contamos para el estudio topográfico de las enfermedades del sistema nervioso central.

Uno de los ejemplos más claros lo tenemos en aquellas que dan lugar a una falta de sincronización en la vía auditiva “ANSD” o desorden del espectro de la neuropatía auditiva (27), y dentro de estas el amplio número de causas genéticas sindrómicas y no sindrómicas. De igual forma hay que considerar causas tóxicas o infecciosas y metabólicas, así como el grupo nada concreto de las englobadas dentro de la prematuridad. Desde que se han generalizado los programas de cribado neonatal los pacientes diagnosticados en este grupo han aumentado considerablemente.

## **Neuropatía auditiva. Existencia de microfónicos cocleares y ausencia de peatc.**

En la neuropatía auditiva descrita anteriormente por Starr, para establecer el diagnóstico se dan los siguientes hechos: existencia de otoemisiones acústicas y microfónicos cocleares y la ausencia de potenciales del tronco cerebral sin que existiera una correlación audiométrica con lo último (28). Hay que tener en cuenta que las OEA pueden inicialmente estar presentes y desaparecer con el tiempo, lo que demuestra que la propia evolución del proceso puede cambiar el panorama de la clínica (figura 7). En dos hermanos diagnosticados y seguido en nuestra clínica de Charcot-Marie-Tooth ni tan siquiera la audiometría tonal ha tenido una evolución estable.

La no existencia de respuesta en los PEATC había sido considerada un indicio de patología neurológica (29, 8) en ausencia de una hipoacusia no mayor de 70-80 dB (figura 8). Lo mismo cabe decir de la interrupción de la respuesta a partir de alguno de sus componentes. Este fenómeno junto a la variabilidad en los registros obtenidos lo hemos encontrado en casos de esclerosis múltiple y de tumores del acústico. En otras enfermedades neurológicas como la ataxia de Friedreich también se encuentran alteraciones en los potenciales del tronco.

El incremento de la diferencia interaural de la latencia de la onda V se ha considerado un indicador fiable con el fin de establecer la diferencia entre patología coclear y retrococlear (30).

## **Potenciales evocados auditivos de estado estable**

Los potenciales evocados auditivos de estado estable (PEAee) son el conjunto de fenómenos eléctricos que acontecen por la estimulación mediante un estímulo repetitivo, produciendo una respuesta que tiene la característica de ser reiterativa y estable en el tiempo.

Los PEAee se contraponen a los potenciales transitorios, constituidos principalmente por los PEATC a click, porque en estos últimos, a un estímulo

le sigue el siguiente a un intervalo suficientemente largo para que el sistema nervioso vuelva a su estado inicial de reposo antes de que ocurra el siguiente estímulo. El estímulo que genera el estado estable se ha de producir a una tasa de repetición lo suficientemente rápida para que la respuesta a un estímulo no se haya extinguido antes de que sea emitido el siguiente estímulo. Así, un sonido repetitivo a frecuencias entre 3 y 200 Hz evoca una respuesta de estado estable. Sin embargo, la tasa de repetición más útil con fines audiométricos está entre 75 y 110, pues evoca respuesta en valores próximos al umbral psicoacústico, y no es modificado por el estado de sueño.

La identificación de la respuesta se reduce a la detección de una onda cuya frecuencia es aquella que corresponde a la moduladora de la señal entre la totalidad de la actividad eléctrica cerebral. En el caso de estimulación múltiple, se buscarán aquellas ondas correspondientes a cada una de las moduladoras emitidas.

Un análisis estadístico determinará con un determinado margen de error si la amplitud de la respuesta buscada es significativamente diferente del ruido eléctrico de fondo. Con ello, la identificación de la respuesta es un hecho objetivo, sin intervenir en este caso la subjetividad del explorador al interpretar un registro. Por este motivo a los PEAA se les puede considerar una prueba diagnóstica doblemente objetiva, al no depender de la subjetividad del individuo a explorar ni del explorador al interpretar la respuesta.

Los PEAA han de ser incluidos en el conjunto de técnicas para la valoración objetiva de los umbrales de audición. Como se ha venido exponiendo, este nuevo método ofrece una serie de ventajas con respecto a otros métodos de exploración objetiva que se enumeran a continuación:

*Técnica doblemente objetiva:* los PEAA valoran la existencia de audición sin que para ello haya de intervenir ni la subjetividad del sujeto explorado ni la subjetividad del explorador.

*Frecuencia-especificidad:* la audición puede ser explorada a diferentes frecuencias, pudiendo obtener un audiograma. Esta posibilidad también era

ofrecida por técnicas como PEATC a *tone-pip* y *tone-burst* o respuestas derivadas, pero su utilización clínica ha sido escasa por los argumentos técnicos.

Posibilidad de explorar frecuencias graves: puesto que un gran número de hipoacusias severas o profundas presentan audición residual en graves aprovechable mediante amplificación auditiva, es importante su identificación para su aprovechamiento.

Posibilidad de explorar a mayores intensidades: debido a las características físicas del estímulo, es posible su emisión a más alta intensidad que los sonidos breves debido a que no producen distorsión y su calibración es más simple. Es por ello que los PEAAe son más potentes para detectar restos auditivos en hipoacusias severas y profundas.

### **Otoemisiones evocadas auditivas**

En la inauguración del curso del año 2000 de la Real Academia de Medicina de la Comunidad Valenciana el discurso inaugural le correspondía al Profesor Jaime Marco Clemente, unos días antes comenzó su enfermedad que provocaría su fallecimiento en julio de aquel año. El entonces Presidente del Excelentísimo Prof. Dr. D. Vicente Tormo Alfonso me pidió que leyera el discurso de inauguración que mi padre había preparado. El tema era el de las Otoemisiones Acústicas. Otra prueba que ha revolucionado el diagnóstico de la hipoacusia y especialmente ha permitido que en el momento del nacimiento mediante una prueba que dura menos de un minuto sepamos si el niño oye o no oye.

Quiero hacerles a ustedes partícipes de este hallazgo fisiológico, hasta hace poco tiempo, ni siquiera sospechado, en el funcionamiento del oído interno, y más concretamente, del órgano de Corti.

Hasta el descubrimiento de esta nueva función auditiva, el oído interno era considerado como un receptor de sonido, a cuyo nivel tenía lugar la transformación de la energía sonora o mecánica en energía eléctrica o nerviosa,

que recorre la vía auditiva hasta los centros más elevados de la misma, donde tiene lugar la integración o interpretación del mensaje sonoro. Pero desde hace muy poco tiempo se ha descubierto en el órgano de Corti una nueva y sorprendente función: este órgano, además de continuar siendo un órgano receptor del sonido y transformador del mismo en energía nerviosa, es capaz de emitir sonidos de una manera espontánea, o a voluntad del investigador, cuando el oído es estimulado con sonidos.

El papel desempeñado por el órgano de Corti en la percepción de sonidos siempre ha despertado un gran interés al intentar comprender su funcionamiento íntimo, por lo cual, al revisar la historia de la ciencia, encontramos distintas teorías que intentan explicar el mismo.

Hasta el descubrimiento de las OEA, es decir, de una nueva función del órgano de Corti, el oído interno era considerado como un receptor de sonido, a cuyo nivel tenía lugar la transformación o transducción de la energía mecánica o sonora en energía eléctrica o nerviosa, que recorría la vía auditiva hasta los centros más elevados de la misma, donde tiene lugar la integración o interpretación del mensaje sonoro. Pero desde hace muy pocos años, se ha descubierto en el órgano de Corti, una nueva y sorprendente función: este órgano, además de continuar siendo un órgano receptor del sonido y transformador del mismo en energía nerviosa, posee la facultad de emitir sonidos de manera espontánea y también como consecuencia de un estímulo sonoro.

Múltiples trabajos de investigación posteriores han confirmado la existencia de estas OEA, su origen biológico, y más concretamente, su origen en las CCE, relacionándose su presencia con una buena audición, ya que constituye la expresión de un normal funcionamiento de los mecanismos cocleares activos. Por lo tanto, la existencia de este fenómeno, inicialmente controvertido, ha sido finalmente aceptado por la comunidad científica internacional, definiéndose la otoemisión acústica como:

La fracción de sonido generada por la actividad fisiológica de la cóclea que puede ser registrada en el CAE, Kemp y Kemp, Ryan, Bray, 1990 (33,34,35).

La importancia de este descubrimiento radica en que, a través del estudio de las OEA, disponemos de un método de evaluación objetivo del feed-back de la mecánica coclear, por el que las CCE y las fibras del sistema aferente son responsables de las curvas de sintonía y de la discriminación frecuencial asociada a la audición normal, Lonsbury (36).

Fue la intuición de Kemp (33) lo que le llevó a concebir los medios técnicos para que fuese posible registrar las emisiones sonoras supuestas por Gold, que se producían en el oído interno como un producto o acontecimiento derivado de la finalidad última de las contracciones de las CCE que no era otra, como precisaba Gold (37), que disminuía el amortiguamiento que existe en la membrana basilar por su contacto con los líquidos laberínticos, con el fin de aumentar la capacidad de discriminación frecuencial de la misma cuando es estimulada por un sonido. Esta misma línea de investigación fue seguida por Flock y col. en 1986 (38), Zenner y col. (39).

Estos investigadores concluyeron que la CCE es una célula contráctil. Estos movimientos serían inducidos por un mecanismo de electro-ósmosis.

El conocimiento de la capacidad electromotriz de las CCE ha hecho cambiar el concepto de considerar a la cóclea como un órgano meramente pasivo que convertía la vibración mecánica del oído interno en energía nerviosa. La electromotilidad parece ser la responsable de la sorprendente habilidad de la cóclea para producir sonido. Esta electromotilidad de las CCE es, como en otros tejidos, alimentada por el ciclo de Krebs, con la diferencia de que en este caso la fosforilización oxidativa ocurre fuera del ciclo en un órgano aislado. El ATP producido por la estría vascular es empleado para conducir una burbuja electroquímica hasta el extremo celular de ese órgano. Estas burbujas dan origen a la llamada "corriente silenciosa" que es la que establece un gradiente electroquímico a lo largo del Organismo de Corti. A partir de la modulación que establece este gradiente, se origina el potencial receptor de las CCE y a su vez, a partir de éste, se logra la energía mecánica para la electromotilidad de las células. De este modo, la respuesta electromotriz proporciona un feed-back que aumenta el movimiento de este ta-



bique coclear. Este mecanismo es transmitido retrógradamente al CAE en forma de OEA.

En sus trabajos iniciales Kemp (33) ya establece el posible origen coclear de las OEA al definir a éstas como la energía acústica generada tras la aplicación de un estímulo sonoro, presumiblemente por la motilidad activa generada en el interior de las CCE.

Tras la confirmación de la existencia del fenómeno físico de la emisión acústica en humanos, animales de experimentación e incluso en modelos analógicos computerizados, su origen biológico queda confirmado por una serie de hechos que establecen que las características acústicas dinámicas de las OEAs provocadas, tienen su origen en un sistema no lineal, ya que la progresión de la respuesta, a medida que se incrementa la intensidad del estímulo, no sigue un crecimiento lineal, alcanzándose la saturación a partir de una determinada intensidad, siendo este comportamiento característico de los sistemas biológicos. Además se presentan con una latencia mayor de lo que un eco físico produciría y cuando se detectan en animales de experimentación desaparecen tras la muerte del animal, Avan 1990 (40).

Las OEAs tienen su origen en la actividad contráctil de las CCE, quedando todavía por determinar el mecanismo íntimo de origen de esta energía acústica. Se generan como una onda sonora que se propagaría a lo largo de la Membrana Basilar en sentido inverso a la onda de Békésy y posteriormente a través de la cadena de huesecillos y la membrana timpánica, hasta alcanzar el CAE donde puede ser registrado, Uziel 1991 (41). Este fenómeno constituye un reflejo de los mecanismos cocleares activos derivados de la contracción de las CCE que amplifican la vibración de la Membrana Basilar y modulan la excitación de las CCI, siendo el resultado de este fenómeno la propiedad de la discriminación frecuencial fina que posee la cóclea humana, expresado en la capacidad de audición de sonidos de baja intensidad y en la selectividad frecuencial.

## Tipos de otoemisiones acústicas

Definidas las OEA como todo sonido generado en la cóclea, que puede ser registrado en el CAE, las podemos clasificar según el estímulo empleado para producir su aparición:

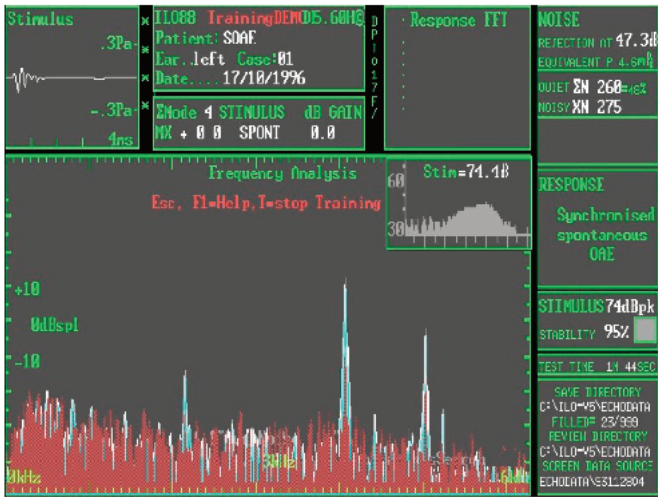


Figura 9. registro de otoemisiones acústicas espontáneas.

1. Otoemisiones Acústicas Espontáneas (OEAE): son sonidos de frecuencia pura emitidos por la cóclea en ausencia de estimulación acústica externa.
2. Otoemisiones Acústicas Provocadas (OEAP): requieren un estímulo externo para ser generadas. Estos estímulos pueden ser:
  - transitorios, como los click o estallidos tonales, y
  - continuos, como en el caso de los productos de distorsión acústica (PD).

Se originan tras la estimulación con 2 tonos puros de frecuencia distinta ( $f_1$  y  $f_2$ ) y como consecuencia de la no linealidad coclear se genera un tercer tono con frecuencia resultante de la aplicación de la función matemática  $2F_1-F_2$ .

El registro de OEA se consigue al introducir una sonda en el CAE, formada por un microaltavoz (OEAP) o bien dos (PD) y un micrófono que recoge la

señal generada en el Organó de Corti. Esta señal es filtrada, amplificada y sumada con otras, hasta obtener una de suficiente amplitud. En resumen, la tecnología es muy similar a la usada en los potenciales evocados.

### **Otoemisiones acústicas provocadas por click (OEAP)**

Las otoemisiones acústicas provocadas por estímulos transitorios son señales acústicas originadas en la cóclea tras la estimulación con click o tonos burst. Se trata del tipo de otoemisión que inicialmente se desarrolló y que en la actualidad presenta la aplicación clínica más importante, empleándose en la mayoría de las ocasiones como estímulo para provocar la aparición de la OEA, un click no filtrado.

Cuando realizamos su registro, lo que realmente nos importa, es valorar su presencia o ausencia, es decir, determinar si dicho oído es capaz de generarlas, ya que como posteriormente comentaremos, la presencia de una verdadera OEAP nos permite afirmar que en dicho oído la audición se encuentra dentro de los límites de la normalidad.

El sistema de registro de OEAP más extendido es el analizador ILO en sus distintas versiones 88, 92, 96 Otodynamics Ltd. Hatfield U.K. Las últimas versiones de este sistema de registro ILO92, ILO96, permiten obtener con el mismo hardware todos los tipos de OEA que en la actualidad poseen alguna aplicación clínica (OEAE, OEAP, PD). Este sistema simplifica de manera importante la obtención de OEAP, de forma que éstas pueden ser obtenidas en menos de 1 minuto en la mayoría de los casos, siempre que se respete una serie de parámetros para su obtención en condiciones óptimas.

El análisis de la respuesta se basa en identificar la existencia de OEAP de entre todos los datos que se muestran en la ventana de análisis. Este análisis se realiza en primer lugar a través de la visualización de la onda tiempo-frecuencial, en la que la OEAP adopta la morfología de dos ondas superpuestas con abundantes picos entre 5 y 20 ms. y del espectro frecuencial tras realizar una transformación de Fourier (FFT), en el que se

identifica la presencia de energía acústica por encima del nivel de ruido, en la mayoría de las frecuencias entre 0'5-6 kHz.

Las OEAP están presentes en el 96%-100% de adultos con audición normal, no registrándose en oídos con hipoacusia en los que los umbrales auditivos superan los 25-30 dB. HL, Martin y Lonsbury-Martin, 1986 (36). De los datos de la literatura se extrae un valor promedio de registros de OEAPs

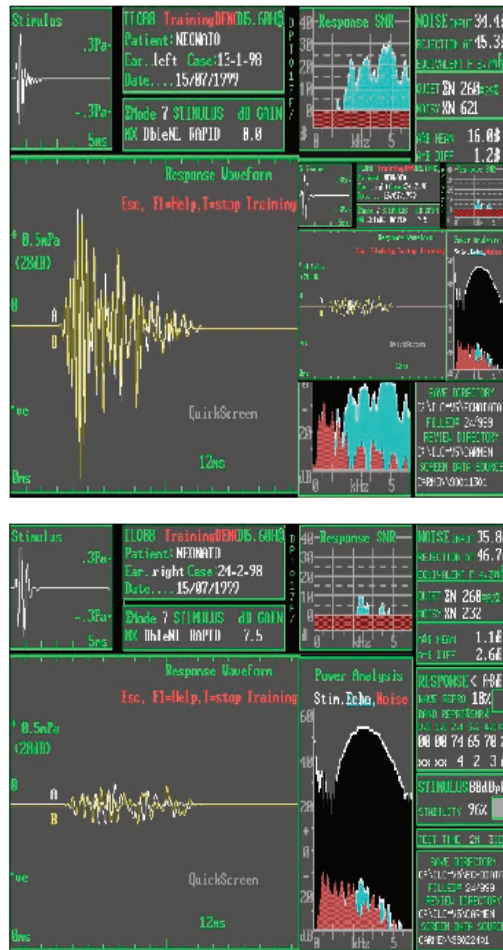


Figura 10. Registros de OEAP: en el superior (10a) está claramente definida su presencia al identificarse los parámetros cualitativos y cuantitativos indicadores de la existencia de una OEAP mientras que en el inferior (10b) no se identifica la presencia de OEAP.

en el 98% de los oídos con audición normal, por lo que quedaría un 2% de normoyentes en los que éstas no se registrarían, siendo éste un fenómeno de etiología no aclarada, para cuya explicación se han propuesto varias hipótesis:

- Variaciones antagónicas del oído externo y medio.
- Capacidades individuales de generar niveles elevados de ruido biológico.
- Defecto de la técnica de registro por imposibilidad de un correcto ajuste de la sonda.
- Incapacidad del estímulo de provocar la aparición de la OEA en un oído determinado.

No se aprecian variaciones en la incidencia de aparición de la OEAP entre niños y adultos con audición normal, pero sí en algunas características de la otoemisión.

En el espectro de las OEAP del recién nacido identificamos un mayor número de picos frecuenciales de banda, y éste se extiende uniformemente entre 1-5 Hz, sin la ausencia de emisión en algunas frecuencias como ocurre en el adulto. También es característico que la amplitud global de la OEAP sea aproximadamente 10 dB SPL mayor que en el adulto y que el crecimiento de este valor, a medida que se incrementa la intensidad del estímulo, se produzca de una forma mayor. Estas diferencias se han atribuido a las menores dimensiones del CAE del recién nacido, que permite un mayor ajuste de la banda y un mejor registro de la respuesta (33,34), y a características propias de la cóclea de éste, aún no determinadas, y posiblemente relacionadas con la escasa exposición de este órgano a los sonidos. Estas diferencias se mantienen hasta aproximadamente los 2-3 años de vida, edad en la que las OEAP adoptan ya las características del adulto, manteniéndose éstas hasta aproximadamente los 40 años. A partir de ésta edad se observa una disminución progresiva de la incidencia de registro, hasta situarse en un 35% cuando la población supera los 60 años.

Se considera que la cuarta década es la edad crítica en la que empiezan a manifestarse signos de envejecimiento coclear, los cuales también se pueden objetivar a través de la comprobación de la disminución de los valores de la amplitud global y en el incremento lineal del umbral de aparición de la OEAP con una media de 8 dB HL por década.

## Productos de distorsión acústica

Cuando se presentan simultáneamente a la cóclea dos tonos puros de frecuencia conocida  $f_1$  y  $f_2$ , siendo la frecuencia de  $f_2$  mayor que la de  $f_1$  ( $f_2 > f_1$ ) por los mecanismos activos ligados a la capacidad contráctil, se generan nuevos tonos o productos de distorsión acústica (PD), de los cuales el predominante es aquel que posee una frecuencia, definida por la fórmula  $2f_1 = f_2$ . Con una adecuada selección de los primarios podremos provocar la aparición de PD generados en distintas zonas de la partición coclear, aportándonos información con especificidad frecuencial del funcionamiento de dichas áreas.

Se considera como un reflejo de la capacidad que poseen algunos sistemas biológicos, entre ellos la cóclea, de establecer una relación no lineal entre las intensidades y las características frecuenciales del estímulo y la respuesta. El mecanismo íntimo de producción de los PD se cree que está basado en la capacidad que posee el cuerpo celular de las CCE para contraerse, junto a la capacidad de deflexión de los cilios.

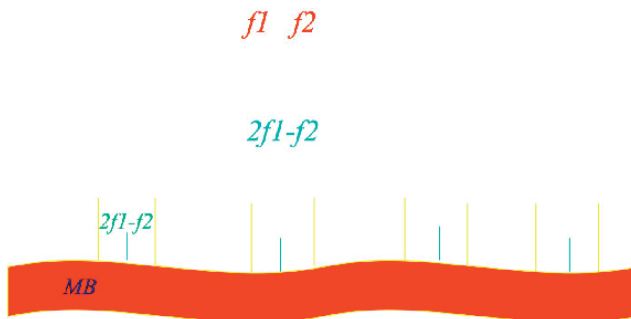


Figura 11. Productos de Distorsión generados por la incapacidad de respuesta de la Membrana Basilar a dos tonos puros.

Las diferencias de las latencias de aparición de los distintos tipos de OEA puede estar basada en una distinta localización de su fuente de producción a nivel de las CCE: en los cilios los PD y a nivel de la membrana basolateral las OEA provocadas por clicks y tonos burst.

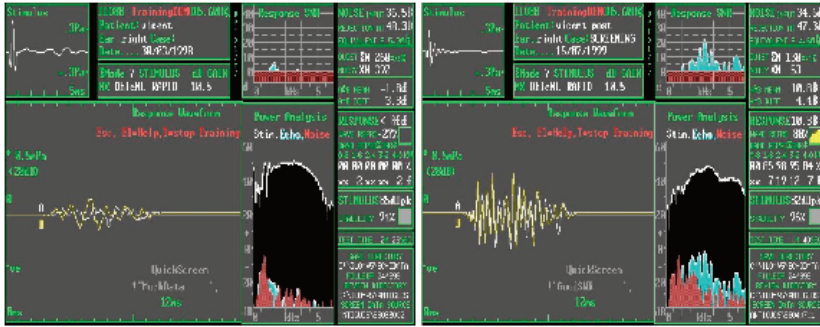


Figura 12. Registros de OEAP realizados en un niño diagnosticado de OMS. Se comprueba la reaparición de la otoemisión tras la el tratamiento quirúrgico con tubos de ventilación

### Aplicaciones clínicas

Con el perfeccionamiento y estandarización de los sistemas de registro, se ha demostrado que las OEA están presentes en el 96%-100% de los sujetos con audición normal. Aceptado en la actualidad su origen coclear, ya Kemp en 1978, indica que éstas estarían ausentes en todos los casos en los que se produzca una injuria coclear, cualquiera que sea su etiología (ototóxicos, ruidos, anoxia...) y de este hecho derivan sus posibles aplicaciones clínicas (Kemp, 1978). Pero antes de considerar que la ausencia de otoemisiones está ligada a patología coclear, hay que tener en cuenta un detalle: para la detección de las OEA en el CAE, se precisa la integridad del oído medio. El registro estará pues alterado, siempre que exista un proceso que modifique la función de transferencia directa o inversa en el oído medio, no detectándose, siempre que el umbral audiométrico supere los 30-35 dB; por lo tanto, es conveniente realizar una otoscopia y un timpanograma en todo individuo, y especialmente en los niños, en los que no se detecta la existencia de cualquier tipo de otoemisión.

Desde su descubrimiento Kemp (32), ya establece que las OEAP estarán ausentes cuando existe una patología endococlear que provoque una hipoacusia que supere los 30 dB HL. Por lo tanto su presencia es sugerente de normofunción auditiva y ante su ausencia existe un alto índice de sospecha de alteración auditiva periférica.

Cinco son los campos donde el registro de los distintos tipos de otoemisión nos puede aportar información clínica:

1. Estudio de los acúfenos
2. Screening
3. Cuantificación de la hipoacusia
4. Diagnóstico diferencial y topográfico
5. Monitorización de las lesiones cocleares.

### **Estudio de los acúfenos**

Tras el descubrimiento de las otoemisiones acústicas se valoró la posibilidad de que los acúfenos fueran la manifestación clínica de la existencia de una otoemisión acústica espontánea. Estudios posteriores han confirmado que, en general, no existe relación entre ambos fenómenos, aunque se han identificado un pequeño porcentaje de casos en los que esta relación está plenamente establecida.

En la literatura se han descrito casos en los que el acúfeno se considera la manifestación de una Otoemisión Acústica Espontánea de frecuencia similar, y cuya desaparición tras la administración de una dosis elevada de ácido acetil-salicílico, está asociada a la desaparición de la emisión (Penner, 1989). Estos hallazgos sugieren que tan solo en algunos pocos casos se puede considerar a los mecanismos cocleares activos como la fuente originaria de los acúfenos, aunque no se puede descartar que éstos estén implicados en su producción, pero de una forma más compleja, sobre todo cuando se alteran por la acción de determinadas injurias cocleares, como el ruido o los ototóxicos.

### **Screening de hipoacusia del recién nacido**

Desde el descubrimiento de las OEAP se depositaron grandes esperanzas de la posible aplicación clínica del registro de estas emisiones en la detección precoz de la hipoacusia del niño, dado que por su capacidad de explo-



ración de la actividad coclear, nos permite disponer de un método rápido, objetivo y atraumático de screening de la audición, con posible aplicación en la población de recién nacidos. Actualmente se ha generalizado esta aplicación, e incluso se recomienda como la primera exploración a realizar en programas de screening multifásico de la hipoacusia (Culppeper, 1997). Esta posibilidad se basa en que las OEAP están presentes en todos los recién nacidos que presentan respuestas comportamentales normales, o con umbrales de la onda V en 30 dB. en los registros de potenciales evocados auditivos de tronco cerebral (PEATC). Como consecuencia de estas afirmaciones podemos establecer que la presencia de OEAP permite confirmar la ausencia de patología coclear, mientras que su ausencia nos haría sospechar la existencia de hipoacusia sin aportarnos datos sobre su etiología o gravedad.

Stevens en un amplio estudio comparativo de las OEAP y los PEATC como técnicas de screening de la audición, establece como conclusión que el registro de las OEAP es en la actualidad el método ideal de identificación precoz de defectos auditivos fundamentalmente por su sencillez y el menor tiempo precisado para su realización, todo ello con muy buenos índices de sensibilidad y especificidad (Stevens, 1995), que precisa menor tiempo que los PEATC para su realización, todo lo cual redundo en un bajo coste de la técnica exploratoria.

Debido a la sencillez de la exploración la mayoría de programas de screening de audición consideran a las OEAP como la primera exploración a realizar, sobre todo si se aplica en población universal, reservando el registro de PEATC para los casos que fallan, como exploración de confirmación.

### **Cuantificación de la hipoacusia**

No es posible registrar OEAP cuando el umbral subjetivo de percepción del click es superior a 45 dB HL, en cambio siempre podemos obtenerlos cuando la media de los umbrales auditivos en las frecuencias de 1-2 KHz. o el umbral subjetivo de percepción del click es 15 dB.

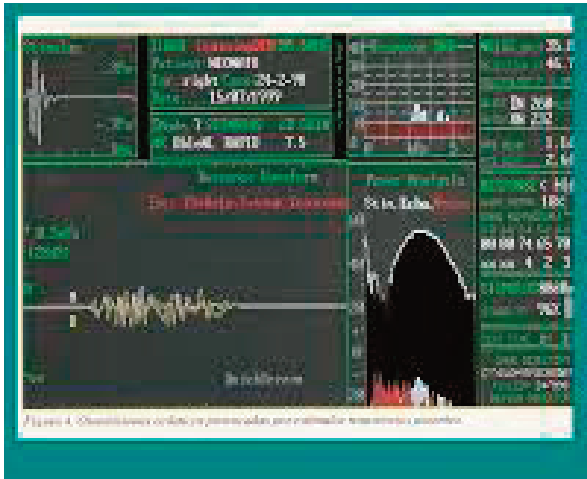


Figura 13. Registro realizado en un lactante que tras haber padecido una meningitis quemodificó su forma de respuesta a estímulos sonoros. La ausencia deOEAP nos hace sospechar la hipoacusia que se confirmó posteriormente con los registros de PEATC.

Se admite que el registro de las OEAP puede ser considerado como un test de screening para umbrales de 30 dB que nos permite separar la población en dos grupos de sujetos según la presencia/ausencia de éstas, sin que en ningún momento podamos cuantificar el grado de hipoacusia de aquellos oídos en los que no se registra OEAP. Precizando más esta afirmación, existen autores que consideran que nunca se registrarían en aquellos casos en los que los umbrales audiométricos en la frecuencia 1000 Hz. superan los 40 dB. Este concepto se ve reforzado por la evidencia de que en algunos casos es posible registrar OEAP cuando las pérdidas auditivas se producen en las frecuencias superiores a 2 KHz.

En cuanto a la contribución de los PD en este campo, en líneas generales, se observa que se produce una disminución de la amplitud del PD cuando los umbrales en la audiometría tonal se elevan por encima de 15 dB HL, estando normalmente ausentes cuando estos superan los 50 dB HL. En oídos patológicos se produce una importante disminución de la incidencia de registro de PD si los umbrales de la vía aérea en la Audiometría Tonal Liminar superan los 55 dB HL.

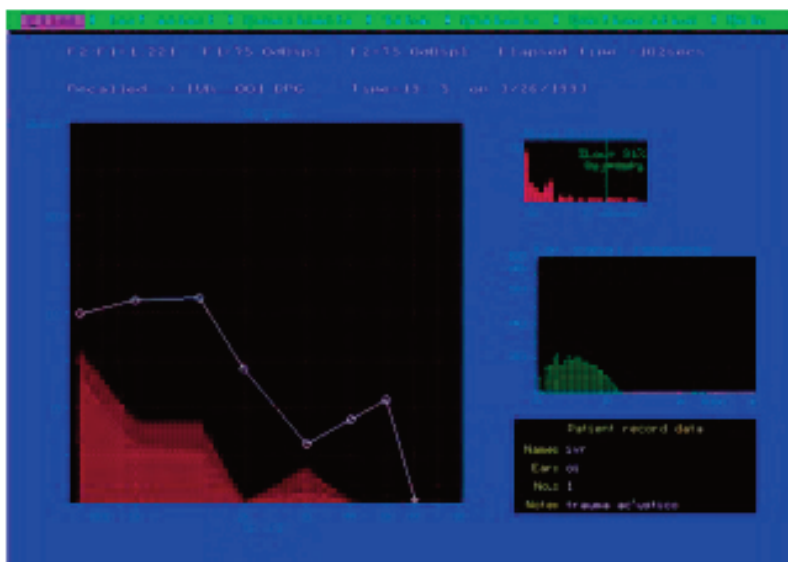


Figura 14. PD-grama de un trabajador expuesto a ruido durante su horario laboral: el registro nos aporta información sobre la localización del área coclear alterada ya que los PD generadas por una  $f_2$  de 3 kHz son de menor amplitud.

En adultos con audición normal o con hipoacusia neurosensorial hay una buena correlación en los adultos entre la amplitud de los PD en el Audiograma de Productos de Distorsión y los umbrales en la Audiometría Tonal Liminar. Pérdidas auditivas en regiones específicas del audiograma en pacientes adultos se correlacionan con una disminución en la amplitud PD de frecuencia similar. Esta forma de comportamiento de los PD en los distintos casos de hipoacusia nos permite emplear su registro como un método para delimitar entre una audición normal y anormal, aportándonos información con especificidad frecuencial sobre las regiones cocleares donde predominan las alteraciones (36).

### Diagnóstico diferencial y topográfico

Teóricamente las OEAP pueden aportar información, en algunos casos de hipoacusia de etiología desconocida, sobre el origen de la lesión y nos pue-

den ayudar a distinguir algunos subtipos de patologías cocleares. Pero, en líneas generales contribuyen muy poco al diagnóstico topográfico de la hipoacusia, ya que tras diversos estudios, se llegó a la conclusión de que su obtención tiene poca especificidad en la detección de tumores del ángulo pontocerebeloso.

Cuando se diagnostica un Neurinoma del VIII par craneal no se suelen registrar OEAP en la mayoría de los casos en los que el umbral audiométrico es superior a los 30 dB HL, o el tamaño es mayor de 2.2 cm, existiendo una correlación clara entre su presencia o ausencia y los umbrales audiométricos. A la luz de estos resultados se considera que, en el momento de su diagnóstico, en la mayoría de los neurinomas del VIII par la hipoacusia es de origen coclear, probablemente por compresión vascular o atrofia retrógrada, Bonfils y Uziel, 1988 (42,41).

En el resto de casos en los que existe una patología del tronco de encéfalo (Hiperbilirrubinemia, Esclerosis en Placas...) se registran OEAP en la mayoría de los casos, independientemente de que produzcan o no hipoacusia.

### **Monitorización objetiva de la audición**

La gran sensibilidad que poseen las OEA ante determinados agentes que provocan injurias cocleares nos permite, junto con la estabilidad temporal que estas mantienen en el tiempo, emplearlas para la monitorización de la función auditiva, siendo de utilidad incluso en la detección de alteraciones subclínicas que aún no se manifiestan en el audiograma. Por lo tanto constituye un método de monitorización objetiva de la audición, fundamentalmente en el control de la ototoxicidad medicamentosa, fundamentalmente salicilatos, amoniglucósidos y quimioterápicos, o en el seguimiento de la exposición a ruidos durante el horario laboral. Con esta finalidad se pueden registrar OEAP y PD, pero consideramos que debido al tipo de información con especificidad frecuencial sobre el estado de la función coclear que nos proporcionan los Productos de distorsión, que es este el tipo de OEA que debe emplearse con esta finalidad.

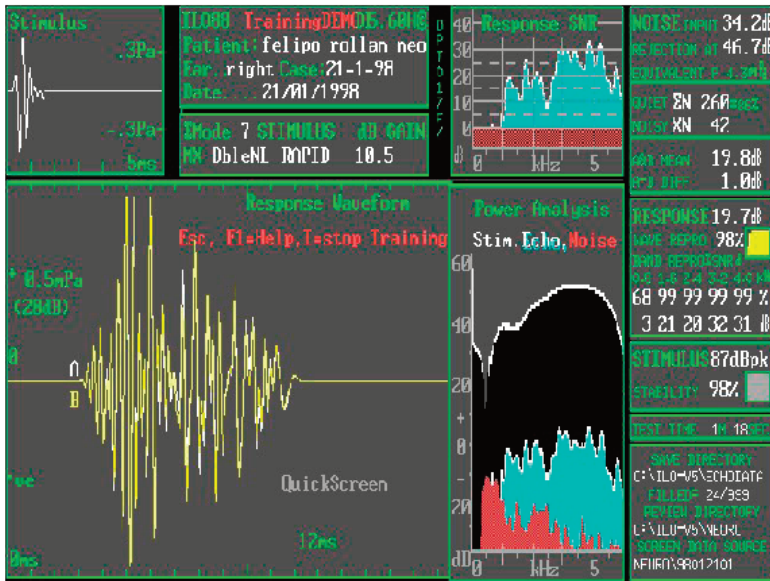


Figura 15. Registro de una OEAP de gran amplitud en una niña con hipoacusia provocada por una hiperbilirrubinemia. En este caso la presencia de otoemisión es sugestivo de que la lesión no está localizada en las CCE.

El registro de PD 2f1-f2 presenta una gran sensibilidad para detectar signos precoces de deterioro de la función auditiva provocada por fármacos ototóxicos o por el ruido, pero de igual forma nos permite objetivar mejorías en esta función en algunos casos de Sordera Brusca con buena evolución, o en pacientes diagnosticados de Enfermedad de Meniere tras realización del Test del Glicerol.

En la actualidad las otoemisiones acústicas poseen un campo plenamente establecido en la clínica audiológica diaria, ya que nos aportan información objetiva sobre la función coclear que difícilmente podemos conseguir de una forma tan sencilla con otros métodos. Dos son sus aplicaciones clínicas fundamentales:

1. En el screening multifásico de la hipoacusia en el recién nacido y lactante, el registro de las OEAP por clicks puede ser considerado en la actualidad como la primera exploración a realizar.

2. En la monitorización objetiva de la audición, los productos de distorsión acústicos, constituyen una técnica con importantes aplicaciones en seguimiento de individuos expuestos a injurias cocleares.

Buena parte de todos estos avances se realizaron en el Servicio de Otorrinolaringología y de Pediatría del Hospital Clínico universitario y en la Cátedra de Otorrinolaringología de la Facultad de Medicina de Valencia, Caballero, Morant, Orts, Pérez del Valle, Sequí así como el Prof. Brines y yo mismo (43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54).

### **Solución al problema de la hipoausia neurosensorial severa y profunda: el implante coclear**

Con todo lo que les he expuesto anteriormente ya sabemos que la hipoacusia es una enfermedad extendida entre la población mundial y que cada día va a más por diversos motivos; prolongación de la edad de supervivencia, ruido durante la recreación y tiempo libre e infecciones del oído medio en el tercer mundo. Especialmente preocupante en los recién nacidos que pasarían a engrosar los listados de sordomudos.

También tenemos un sistema de detección precoz de la audición que permite realizar el test en pocos segundos a todos los recién nacidos.

La confirmación de la sospecha y el diagnóstico lo vamos a hacer mediante los potenciales evocados auditivos del tronco cerebral y los potenciales de estado estable.

El tratamiento lo vamos a realizar mediante el implante coclear.

Se definen los implantes cocleares como aquellas prótesis eléctricas cuyo objetivo consiste en paliar una deficiencia bilateral del oído interno, sea severa o profunda, adquirida o congénita. Estos implantes van a llevar a cabo su acción estimuladora sobre las neuronas auditivas, a diferencia de lo que ocurre con las prótesis auditivas convencionales, que actúan por medio del órgano de Corti.

Podemos decir que el implante coclear constituye una de las técnicas que mayor impacto ha ocasionado en el terreno de la audición en los últimos años. Y, sin embargo, son muchos los que inicialmente afrontaban la idea con cierta hostilidad: desde un punto de vista científico, por la simplicidad de la señal eléctrica comparada con la fineza de análisis de la cóclea en condiciones fisiológicas; desde un punto de vista emocional, por la dificultad de proponer una cirugía de esta envergadura en edades tan tempranas; y desde un punto de vista cultural, por el temor ante la posible desaparición de la comunidad de sordos con este tratamiento (56).

El implante coclear se compone de 4 elementos comunes a todos los fabricantes (Figura 16):

Micrófono: para captar los sonidos y transformarlos en señales eléctricas.

Procesador vocal: que codifica las señales.

Antena: sistema de transmisión que comunica el procesador con la parte implantada de forma transcutánea.

Receptor-estimulador: que termina en los electrodos que quedan alojados en el interior de la cóclea.

Todos los implantes cocleares son multicanales e intracocleares, ya que son los que mayor rendimiento y estabilidad han demostrado. Lo que diferencia a los implantes pertenecientes a las distintas casas comerciales son el número de canales con los que funcionan y la manera en la que el implante estimula las neuronas auditivas, es decir, su estrategia de codificación de la estimulación sonora.



Figura 16. Principales componentes del implante coclear.

## **Selección de pacientes**

El análisis es primordial. Una evaluación minuciosa y multidisciplinaria del niño/a es absolutamente indispensable, no sólo para evitar un implante que sería un fracaso sino también para tomar de forma precoz las medidas de acompañamiento antes y después del implante [57,58,59].

## **Evaluación audiométrica**

La valoración audiométrica es fundamental para determinar, en función del grado de hipoacusia, aquellos pacientes que pueden beneficiarse de la implantación coclear.

De manera estricta, la indicación audiológica para la implantación incluye hipoacusias neurosensoriales de asiento coclear, que sean bilaterales y permanentes, en las que el uso de prótesis auditivas convencionales no proporciona un beneficio suficiente. No existe límite máximo de pérdida auditiva para la indicación de un implante coclear. Inicialmente sus indicaciones se limitaban exclusivamente a hipoacusias profundas y cofosis bilaterales, aunque hoy en día, gracias a los resultados alentadores y el desarrollo de nuevas tecnologías en torno a los implantes cocleares, sus indicaciones se están extendiendo a hipoacusias de menor grado [60].

La audiometría tonal y vocal, con y sin prótesis auditiva, en contexto abierto o cerrado, adaptados a la edad y características del paciente, son las pruebas que constituyen el pilar básico de la exploración audiológica previa a la implantación.

Pruebas objetivas, como los potenciales evocados auditivos o las otoemisiones acústicas, ayudan a completar el diagnóstico, sobre todo en el caso de candidatos no colaboradores (57).

La indicación en niños/as es más estricta que en adultos, limitándose a las hipoacusias neurosensoriales profundas. La edad es un factor de una influencia extrema en el niño/a, sobre todo en lo que al desarrollo del lenguaje se refiere (61,62):



- Niños/as menores de 2 años:  
Se encuentran en la etapa prelingual, de manera que la selección en estos pacientes está basada en pruebas tonales. Los umbrales auditivos deben ser superiores a 90 dB en la audiometría tonal conductual y en campo libre y deben superar los 60 dB con el empleo de audífonos. En este apartado, las pruebas objetivas pueden tener su mayor uso ante la escasa colaboración que a veces nos encontramos en estas edades (63-64).
- Niños/as entre 2 y 6 años:  
Se considera la etapa perilingual, en la que ya existe lenguaje en mayor o menor medida. El implante estaría indicado en aquellos niños/as con umbrales superiores a 90 dB en la audiometría tonal y superiores a 60 dB con ayuda protésica.  
Además se debe confirmar una comprensión menor del 30% en las pruebas verbales adaptadas a la edad y al lenguaje del niño/a (65).
- Niños/as a partir de 6 años:  
En este grupo, dado que la colaboración es mayor, las indicaciones son similares a las de los adultos. Estos niños/as deben presentar umbrales superiores a 70 dB en la audiometría tonal liminar y superiores a 55 dB en la audiometría tonal encampo libre con audífonos; por su parte la discriminación deberá ser menor del 40% en las pruebas verbales con audífono (61-62).
- Edad más allá de la cual el implante coclear de un niño/a sordo congénito es desaconsejada: Sobre un plano teórico, la discusión se basa en el concepto de período crítico en el desarrollo del lenguaje en toda criatura, incluyendo al niño/a sordo (61-62,65-66). De una manera general, la influencia de las informaciones sensoriales sobre el desarrollo del cerebro es conocida desde hace tiempo, pero en estos últimos años se han realizado importantes progresos sobre el desarrollo de estas interrelaciones en el plano neurofisiológico.

El diagnóstico por imagen funcional cerebral demuestra la precocidad de las reestructuraciones fisiológicas que se producen a nivel de los córtex sensoriales de los niños/as. Durante el primer año de vida, en los bebés

con visión y audición normales, se detecta una intensa actividad metabólica en los córtex visuales y auditivos; seguidamente aparece, de forma mucho más lenta, un decrecimiento de esta actividad funcional. Al contrario, en sujetos adultos privados en forma congénita de visión o de audición, la hiperactividad cortical parece mantenerse, lo que sugiere un defecto de maduración (59,67). La maduración cerebral podría traducirse en un proceso de eliminación sináptica, según el cual, el buen funcionamiento de las neuronas claves en una zona determinada del córtex pasaría necesariamente por la eliminación de las sinapsis contiguas ajenas a la función. Esta supresión sería precoz y, en el caso de la audición, sería posible por la llegada de mensajes auditivos procedentes de la periferia. Este concepto de período crítico explicaría los malos resultados en sujetos sordos congénitos implantados a la edad adulta, ya que el córtex auditivo no habría recibido durante la fase crítica de su desarrollo las informaciones necesarias para su maduración (59,65).

La cuestión de la edad a partir de la cual es mejor renunciar al implante coclear de un niño/a sordo congénito es difícil y culpabilizante para los progenitores que buscan el bienestar de la criatura (61,62) de niños/as sordos a menudo necesitan varios años para despedirse del niño/a que ellos habían imaginado y deseado, es decir, aceptar que su hijo/a es sordo profundo. Seguidamente, hay un período donde se tranquilizan al verlo desarrollarse como un niño/a oyente: no habla, pero juega, corre, ríe como los otros. Esta fase alentadora, tan importante para el equilibrio familiar, puede durar de dos a tres años. Esta fase se rompe por la entrada a la escuela o centro especializado: la ilusión cae, la realidad resulta cada vez más manifiesta y el niño/a tiene dificultades crecientes para seguir en clase. Es entonces cuando los progenitores toman realmente conciencia de los límites que la sordera impone a su hijo/a. Se vuelcan, entonces, hacia las nuevas tecnologías. Esta fase de ilusión acaba a menudo hacia los cinco o seis años, edad a partir de la cual se sale del período ideal para un implante. De ahí la importancia determinante de la información de los profesionales a los padres durante los tres o cuatro primeros años de la vida (59,65). Éstos deben ser informados suficientemente pronto de las dificultades con las cuales se enfrentará el niño/a para integrar el lenguaje y tener seguida-

mente una escolaridad normal. Esta información forma parte del trabajo de sostén y de acompañamiento familiar.

### **Resultados de la implantación coclear en la población pediátrica pre y perilocutiva. Resultados auditivos y lingüísticos**

Una hipoacusia es de tipo prelocutivo cuando se origina antes de los dos años de edad. En el caso de que su intensidad sea de grado grave-profundo dará lugar a graves repercusiones sobre el desarrollo del lenguaje que, en el ser humano y en condiciones normales, discurre durante los primeros cinco años de vida. Hay autores que no dudan en afirmar que este tipo de deficiencias auditivas, cuando no se tratan pronto, se transforman en plurideficiencias (63-68,69-70). El lenguaje es una herramienta tan potente que su mal funcionamiento afectará negativamente a toda la economía cognitiva. La ausencia en el tratamiento de una hipoacusia infantil puede dar lugar a consecuencias que pueden llegar a ser graves, especialmente si la intensidad de la hipoacusia es de grado severo-profundo y afecta a los dos oídos. Los problemas que va a generar pueden agruparse en cuatro bloques:

provoca restricciones en el desarrollo de la comunicación oral;  
sin una buena base de lenguaje oral se dificulta el aprendizaje lector;  
sin lenguaje potente y sin nivel lector el pensamiento no puede expresarse;  
el resultado, la desigualdad socio-educativo-laboral y el aislamiento social.

Es por ello que la intervención sobre personas afectas de una hipoacusia de tipo pre y perilocutivo, en este caso con implante coclear, dará lugar a un amplio abanico de beneficios, que irán más allá de la mera percepción auditiva (71). La eficacia del tratamiento de la hipoacusia neurosensorial requiere que éste sea iniciado de manera precoz. El sistema auditivo es especialmente sensible a la carencia de estimulación procedente de sus componentes más periféricos (oído externo, medio e interno). Este fenómeno ocurre a lo largo de toda la vida, pero es claramente manifiesto en los primeros periodos de la vida de los mamíferos y especialmente del ser humano (65-66).

La valoración global de los resultados alcanzados a largo plazo con implantes cocleares en niños/as de edades iguales o menores a seis años, revela que la mayor parte de éstos son capaces de reconocer la palabra hablada en un contexto abierto sin el apoyo visual de la lectura labial o la gestualidad. Los resultados también sugieren que los niños/as implantados más precozmente, antes de los tres años, tienen mayores posibilidades de alcanzar dichas capacidades y obtener un mayor desarrollo del lenguaje hablado (64,67,69,48,72-73). No obstante, es preciso tener en cuenta que, en la medida en que la edad de implantación supera el período crítico auditivo, el cual comprende aproximadamente los cinco o seis primeros años de vida, en los resultados pueden producirse importantes variaciones individuales derivadas de factores médicos y de la atención educativa y rehabilitadora que la criatura reciba después de una implantación. Este período crítico de tiempo se corresponde con el momento en que el sistema nervioso central, en sus áreas de representación auditiva, tiene la mayor capacidad para variar su patrón de desarrollo de acuerdo a los estímulos auditivos que provienen del ambiente (65-66).

Los pobres resultados obtenidos en las pruebas de bisílabas y frases sin apoyo por los pacientes prelocutivos implantados más allá de los seis años, ponen de manifiesto, no solamente que la duración de este período de mayor plasticidad neural auditiva se ciñe a los primeros seis años de vida, sino que la introducción de un estímulo auditivo más allá de este tiempo no es capaz de reparar la pérdida de plasticidad neuronal provocada por la ausencia de estimulación durante este período crítico de la infancia (74-75). De hecho, la aplicación de un estímulo eléctrico y su mantenimiento en fases muy iniciales, a partir de la privación auditiva, es capaz de prevenir los cambios que se producen en las diferentes neuronas que integran la vía auditiva, pero no así en fases más tardías, donde no se demuestra reversibilidad al reintroducir la estimulación eléctrica (65). En realidad, la existencia de un período crítico está relacionada con el fenómeno denominado plasticidad cortical cruzada: ante la ausencia de estímulos auditivos durante los primeros años de vida, la corteza cerebral auditiva recibe estímulo de otros sistemas sensoriales, principalmente del visual. En el caso de que durante el período crítico no se establezca la llegada de información audi-

tiva, las áreas corticales auditivas se transforman irreversiblemente en regiones visuales preparadas para procesar estimulación visual y no auditiva (65-66,72,75).

Establecida la existencia de un período crítico auditivo, ubicado en los seis primeros años de vida, la comparación entre los subgrupos implantados antes de los tres años y los implantados posteriormente, demuestra que la evolución es más rápida y se alcanzan mejores resultados en el subgrupo de niños/as implantados más precozmente (64,67,72). Incluso se puede afirmar que los niños/as implantados antes de cumplir un año de vida siguen una evolución equiparable a la de la población sana y conforme la implantación se lleva a cabo más tardíamente, existe una mayor divergencia respecto a la normalidad (42,48,65-67). Todo ello indica una vez más que, en el caso de sorderas pre y perilocutivas, cuanto antes se inicie la estimulación con implante coclear mejores resultados se obtienen, principio que también puede ser aplicado en el caso de aquellos niños/as candidatos a una implantación antes del año de vida.

El desarrollo del lenguaje en niños/as prelocutivos implantados precozmente pasa por las mismas fases que en los niños normoyentes. Hay niños que son capaces de emplear estructuras más complejas y tienen cuantitativa y cualitativamente una mejor articulación, mientras que otros hacen uso de palabras funcionales y necesitan un soporte gestual. Sin embargo, después de dos años de evolución, los resultados se hacen más homogéneos en todos los niños/as implantados. En la medida en que la implantación se efectúa con mayor precocidad, se produce una mayor tendencia al aprendizaje espontáneo de palabras y frases cotidianas, generándose un natural abandono del apoyo gestual y de la labiolectura en la comunicación (77).

### **Resultados con la implantación coclear bilateral**

El sistema auditivo está anatómica y funcionalmente preparado, en condiciones normales, para recibir estímulos desde el exterior a partir de los dos oídos. La intervención de las vías y centros que conforman este sistema

confiere a la percepción auditiva binaural una serie de ventajas sobre la audición monoaural. Por ello, es generalmente aceptado que, en casos de deficiencias auditivas bilaterales, se utilicen audífonos en los dos oídos, se aconseje, si existen restos auditivos suficientes, el uso de audífono e implante coclear o se plantee la colocación de un implante coclear en los dos oídos (57,78).

Las razones para considerar la colocación de un segundo implante coclear pueden ser las siguientes:

- Posibilidad de capturar el oído auditivamente mejor:

Cuando se lleva a cabo una implantación en un solo oído, la elección de éste se realiza a partir de una serie de criterios:

**Anatomo-quirúrgicos:** se tiende a elegir el oído que presente una anatomía normal, rechazando inicialmente el oído con alteraciones de los espacios del oído medio, osificaciones en su cóclea o con malformaciones congénitas.

**Audiológicos:** aunque no existe un criterio absoluto, en la mayoría de los centros implantadores se suele elegir la implantación coclear del oído auditivamente peor.

**Duración de la hipoacusia:** se tiende a seleccionar el oído que ha estado sometido a un menor tiempo de privación auditiva. No obstante, es frecuente encontrar candidatos que presentan las mismas características en los dos oídos. En determinados casos se podría plantear una implantación bilateral a fin de mejorar la situación auditiva de pacientes con pobres resultados después de una implantación unilateral, como en ciertas situaciones de osificación bilateral de la cóclea o en aquellas en las que no se ha obtenido una evolución satisfactoria sin justificación aparente (78-79).

- Localización del sonido:

Localizar sonidos representa la capacidad para ubicar e identificar la posición de la persona que habla o la procedencia de un sonido situado en el entorno. Un reciente trabajo sobre la localización de sonidos, empleando diferentes altavoces colocados en el plano horizontal en una cabina insonorizada y anecoica, muestra que los pacientes portadores de

dos implantes cocleares son capaces de distinguir la procedencia de dos sonidos separados entre 16,5° y 27,5° (78,79). En general, se concluye que la localización de los sonidos era significativamente mejor con el uso de dos implantes que con el empleo de uno solo (80).

- Evitar el efecto sombra de la cabeza:

Uno de los beneficios que conlleva la bilateralidad es la capacidad de oír empleando el oído con la mejor relación señal/ruido. Cuando la voz (señal) y el ruido proceden de diferentes lugares, la relación señal/ruido es diferente en los dos oídos a causa del efecto sombra producido por la cabeza. Las personas con una audición normal habitualmente usan el oído con la mejor relación señal/ruido. Las personas con implantes bilaterales supuestamente también obtienen este beneficio de la binauralidad. Los resultados de diferentes estudios indican que casi todos los pacientes portadores de implantes bilaterales fueron capaces de, selectivamente, usar el oído implantado con la relación señal/ruido más favorable y obtener así el beneficio de la bilateralidad (78-81).

- Mejorar la percepción de la palabra en ambiente de ruido:

Otra ventaja de escuchar con dos oídos implantados es el procesamiento central de la señal a partir de dos canales de entrada independientes. Se ha sugerido que el cerebro podría así alcanzar una óptima representación del ruido y de la voz, siendo capaz de diferenciarlos mejor, es decir, implementando la discriminación de la palabra hablada en ambiente de ruido. En el mundo de hoy, donde una gran parte de nuestra vida se desarrolla en ambiente ruidoso, este beneficio debe ser altamente considerado. En el caso concreto de los niños/as en el entorno escolar, esto puede adquirir una especial relevancia. Si bien las emisoras de frecuencia modulada adaptadas a los implantes cocleares contribuyen a mejorar la recepción de lo que dice el profesor, los niños/as tienen menor información sonora de lo que ocurre en el resto de la clase. Aunque no existen estudios concluyentes al respecto, hipotéticamente el empleo de implantes cocleares bilaterales podría cumplir ambos objetivos, favoreciendo una integración más natural en el ambiente escolar (78,79-81).

– Monoauralidad y plasticidad neuronal auditiva:

La estimulación unilateral ejerce modificaciones irreversibles sobre el desarrollo de los sectores más altos de la vía auditiva. Al igual que existe un período crítico auditivo en niños/as con sorderas bilaterales de origen congénito, también existe un período crítico auditivo ante la ausencia congénita de estimulación por uno de los dos oídos. Esta situación, que hemos observado en casos de sordera unilateral congénita con audición normal en el otro oído mantenida un largo período de la vida, puede extrapolarse a los niños/as que en la actualidad están recibiendo un solo implante coclear en edades por debajo de los dos años y que a través del otro oído permanecen sin recibir ningún estímulo. Este factor de estimulación de los centros auditivos superiores durante el período de mayor plasticidad auditiva es un argumento a favor de la implantación bilateral en el caso de los niños/as con una sordera congénita bilateral. De hecho, diferentes autores indican que, en situaciones de implantaciones bilaterales secuenciales, en la medida en que el tiempo transcurrido entre la implantación del primer y segundo oído es mayor, los resultados en este último tienden a ser peores. Dicho período de tiempo sería de unos cinco años aproximadamente, siempre que la implantación del primer oído se haya efectuado precozmente antes de los dos primeros años de vida (82).

Por otra parte, estudios sobre el desarrollo madurativo de la corteza auditiva en humanos demuestran que la maduración de los axones de las capas corticales comienzan después de los cinco años y finalizan hacia los doce años de vida, siendo este factor esencial para el establecimiento de conexiones cortico-corticales, interhemisféricas y con otras áreas corticales asociadas a la audición. Estos hechos neuroanatómicos coinciden con el perfeccionamiento que experimentan las criaturas, entre los cinco y los doce años, en la recepción de sonidos y palabras en ambiente de ruido y en la percepción de la palabra distorsionada por cambios binaurales, interrupción, filtrado o degradación espectral. Por ello, resulta lógico restablecer la estimulación bilateral en aquel período de la vida en el que están madurando las bases neuroanatómicas responsables de una serie de funciones auditivas determinadas como las que acabamos de citar (78,82).



## **Estimulación bimodal e implantación coclear bilateral**

Como ya se ha dejado claro, escuchar con dos oídos es mejor que uno. Cuando los sonidos son audibles en ambos oídos, el oyente puede hacer uso de la diferencia en el tiempo y en el nivel de intensidad con el que los sonidos que llegan a los dos oídos para localizar la fuente de los mismos. Al escuchar el habla en situaciones ruidosas, el oyente puede atender selectivamente al oído con una mejor relación señal ruido para escuchar mejor el habla. Incluso cuando las señales que llegan a los dos oídos son similares, el sistema auditivo puede obtener beneficios al combinar la información de ambos oídos. Estas ventajas son posibles para las personas con pérdida auditiva que reciben ayuda de la amplificación acústica con audífonos o la estimulación eléctrica con implantes cocleares.

Considerando que la implantación bilateral es la única opción para proporcionar audición binaural a personas con pérdida auditiva profunda en ambos oídos, el ajuste bimodal, es decir, la combinación de un implante coclear en un oído y un audífono en el oído opuesto, ofrece una alternativa no invasiva a las personas que mantienen cierta audición residual en un oído.

La evidencia de ventajas binaurales cuando la amplificación del audífono en un oído se combina con la implantación coclear en el oído opuesto se ha resumido en diversos trabajos (83-84), en los que queda reflejado que la percepción del habla es mejor con la adaptación bimodal que con la implantación coclear unilateral, en niños/as y en adultos. El tamaño del efecto es mayor para la percepción del habla en ruido que en silencio. Los beneficios significativos con la estimulación bimodal son evidentes también para localizar la fuente de sonido, escuchar música y funcionar en entornos del mundo real.

La evidencia actual sobre la efectividad relativa de la implantación coclear bilateral y la estimulación bimodal es aún menos cierta para las personas que reciben un implante coclear en un oído y que tienen una audición residual en el otro debido a limitaciones metodológicas en estudios previos, sobre todo en niños/as (85-91). En primer lugar, el procesamiento actual

del implante coclear es eficiente en el suministro de información de alta frecuencia, mientras que la amplificación acústica es más eficaz en el suministro de información de baja frecuencia. Como tal, podemos pensar que la estimulación bimodal bilateral es mejor que la implantación coclear bilateral para la percepción de información relacionada con el tono, incluidos los contrastes de tono de voz en el habla (87-88) y la percepción musical (89). En segundo lugar, existe evidencia de que la adquisición de lenguaje expresivo es mejor para los niños/as con implantes cocleares bilaterales que tenían experiencia previa en estimulación bimodal que aquellos que no tenían tal experiencia (90), posiblemente debido a que la adaptación bimodal permitía el acceso temprano a controles de tono de voz que son fundamentales para la percepción temprana del habla (91).

## **Material**

El estudio que les voy a presentar es el resultado de un total de 122 niños/as, que clasificamos en tres grupos en función de la opción terapéutica a la que fueron sometidos. Un primer grupo integrado por 46 niños/as intervenidos de un implante coclear unilateral de forma exclusiva, sin apoyo auditivo en el oído contralateral. Un segundo grupo conformado por 30 niños/as sometidos a una implantación coclear en uno de los oídos complementando la audición con una prótesis auditiva convencional en el oído contralateral. Y un tercer grupo, en el que se incluyen 46 niños/as que recibieron un implante coclear bilateral, ya fuera de forma simultánea, en el mismo acto quirúrgico, o de forma secuencial, colocándose el segundo implante durante el primer año tras la primera implantación.

## **Resultados**

Debido al diseño del estudio se seleccionaron los pacientes desde 1999 al 2013, para asegurar un seguimiento de cinco años tras la implantación coclear en todos los casos. Todas las variables anteriormente mencionadas han sido estudiadas en los tres grupos que conforman nuestro estudio. Las

variables cualitativas se presentan con su distribución de frecuencias o distribución absoluta. Las cuantitativas se expresan mediante la media y desviación estándar.

### Resultados en función del dispositivo de ayuda auditiva

Del total de 105 pacientes seleccionados, 63 son varones y 42 mujeres. Su distribución en los distintos grupos queda representada en el siguiente diagrama de barras que le sigue (Figura 17).

### Etiología

Dentro de las principales causas de hipoacusia en nuestra muestra, destaca la genética como la más frecuente dentro de las conocidas, concretamente la vinculada a un error del gen que codifica la conexina 26. Sin embargo, en la mayoría de nuestros pacientes no se ha llegado a conocer la causa concreta desencadenante de esta anomalía. Las distintas causas y su distribución de frecuencias se muestran a continuación (Figura 18):

### Edad

La edad media de implantación de los niños/as que conforman nuestra muestra es de 2.74 +/- 1.6 años. En el caso de los implantados bilateralmente de forma secuencial, se ha considerado como edad aquella a la que

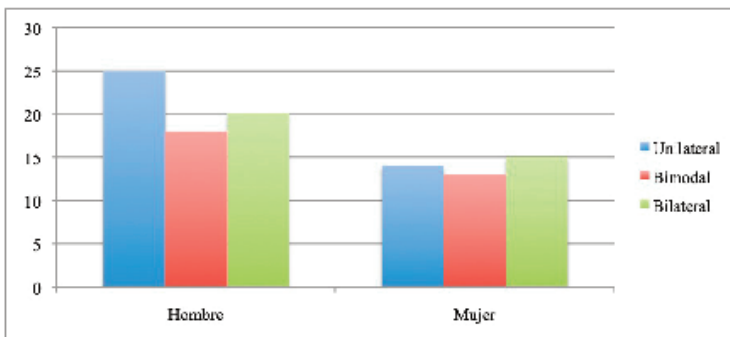


Figura 17. Distribución de la muestra por sexo según grupos

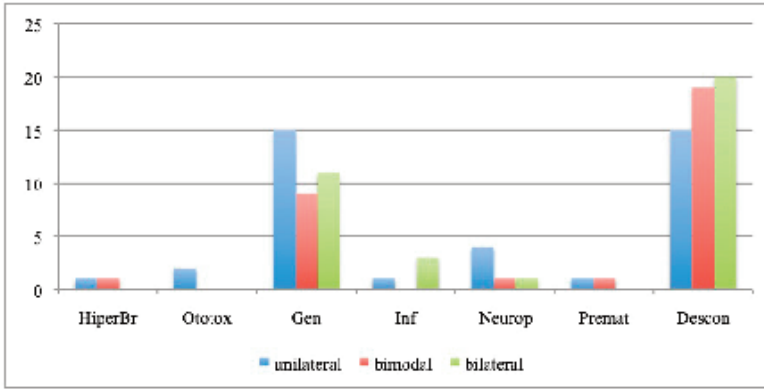


Figura 18. Distribución de la muestra según la causa de la hipoacusia por grupos.

se colocó el segundo implante. Respecto a la media y desviación típica de la edad por grupos, queda representada seguidamente (Figura 19).

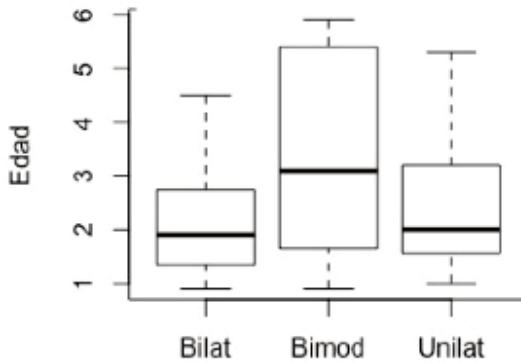


Figura 19. Diagrama de cajas representando la media de edad por grupos.

### Audiometría tonal

Los valores de la audiometría tonal para las frecuencias de 500, 1000, 2000 y 4000Hz, a los seis meses y anualmente durante los cinco primeros años tras la implantación, en cada uno de los tres grupos, quedan reflejados en los (Figuras 20-21):

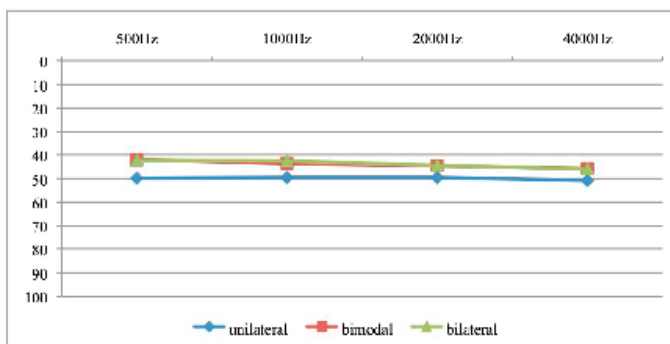


Figura 20. Media de los umbrales en las frecuencias estudiadas en la audiometría tonal realizada a los seis meses tras la implantación según grupos.

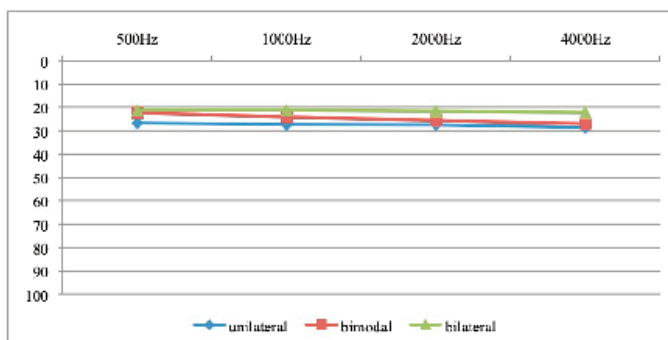


Figura 21. Media de los umbrales en las frecuencias estudiadas en la audiometría tonal realizada a los cinco años de la implantación según grupos.

### Cuestionarios de It-Mais, Nottingham y Little Ears

Otro de nuestros objetivos en este estudio es valorar y comparar los fenómenos de comprensión, discriminación y correlación cronológica en estos tres grupos de niños/as intentando detectar diferencias significativas. Para ello revisamos los resultados obtenidos en la escala de integración auditiva significativa (IT-Mais), la escala de rendimiento auditivo (Nottingham) y la evaluación de las respuestas auditivas al habla (LittleEars), que se muestran seguidamente figuras 22-24):

En primer lugar nos centramos en los resultados obtenidos en la escala de ITMais, que refleja las conductas que presenta el niño/a ante el sonido en situaciones de la vida cotidiana y que evalúa 10 ítems que se puntúan de 0 a 4. Al calcular el p-valor entre los tres grupos con el test de Kruskal-Wallis, dado que esta variable tampoco sigue un comportamiento normal, obtenemos resultados inferiores a 0.05 en casi todos los casos, excepto a los cuatro años post-implantación, lo que nos permite rechazar la hipótesis nula y afirmar que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos.

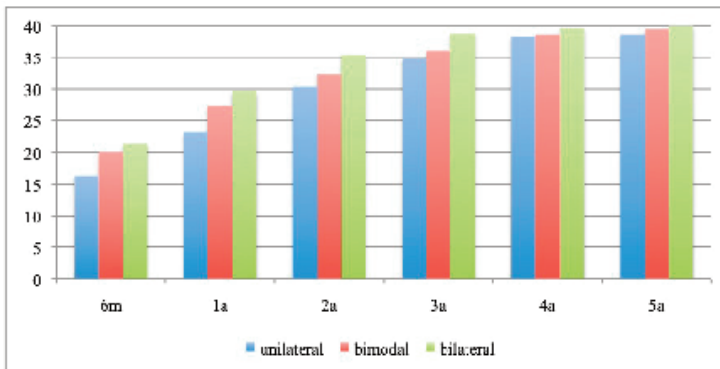


Figura 22. Media del número de aciertos del cuestionario de IT-Mais, por grupos, a los seis meses y anualmente hasta los cinco años posteriores a la implantación.

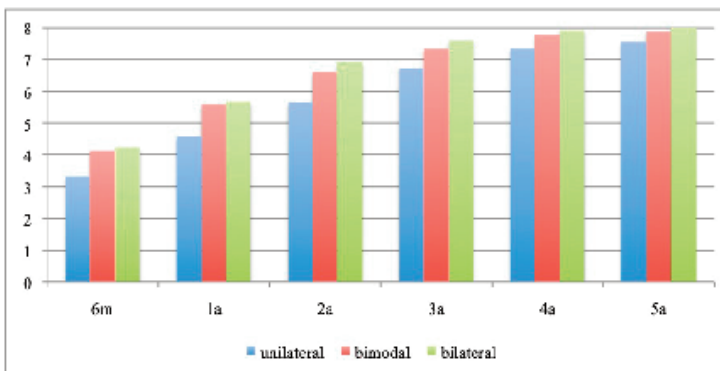


Figura 23. Media del número de aciertos del cuestionario de Nottingham, por grupos, a los seis meses y anualmente hasta los cinco años posteriores a la implantación.

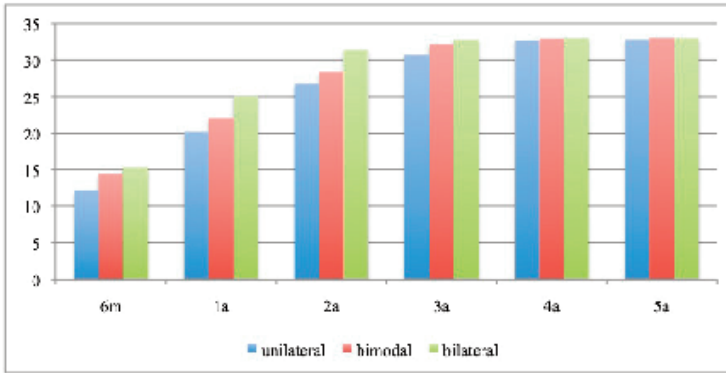


Figura 24. Media del número de aciertos del cuestionario LittleEars, por grupos, a los seis meses y anualmente hasta los cinco años posteriores a la implantación.

Situación similar encontramos al estudiar los resultados de la escala de rendimiento auditivo de Nottingham, que evalúa 8 categorías, donde la primera corresponde a un desconocimiento absoluto de sonidos ambientales a pesar de una adaptación protésica correcta, y donde la última corresponde a la capacidad del niño/a para mantener una conversación telefónica con un interlocutor desconocido y sobre un tema no familiar; utilizando nuevamente el test de Kruskal-Wallis para variables que no siguen un comportamiento normal, obtenemos p-valores entre los tres grupos inferiores en todos los casos a 0.05, lo que nos lleva a aceptar la hipótesis alternativa, según la cual, existen diferencias estadísticamente significativas entre estos grupos.

### Pruebas verbales

Otro punto importante hace referencia a las capacidades lingüísticas que consiguen estos niños/as tras el tratamiento de su hipoacusia y que determinarán su evolución y adaptación en el entorno social. Para la evaluación de estas capacidades realizamos las pruebas verbales. Al hablar de estímulos verbales nos referimos al habla como estímulo capaz de desencadenar una respuesta que podamos valorar.

Estas pruebas tienen como objeto encontrar los umbrales mínimos de percepción de la voz utilizando las habilidades que el pequeño/a ya posee. Los resultados obtenidos en los distintos grupos para el test de bisílabos y frases quedan representados a continuación (Figuras 25-26):

### Resultados en función del dispositivo de ayuda auditiva en cada grupo de edad

En el siguiente apartado nos centramos en exponer los resultados en las distintas pruebas estudiadas entre las tres modalidades de ayuda auditiva, primero en el grupo de los niños/as menores de dos años y luego en el

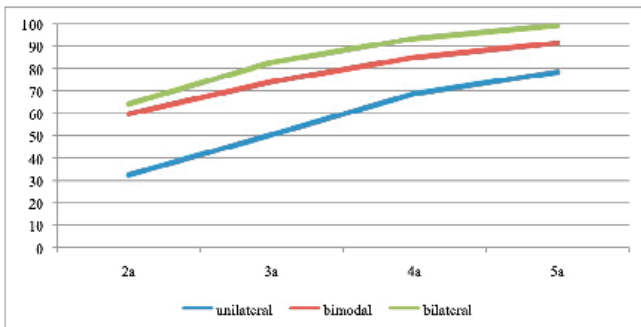


Figura 25. Media del porcentaje de aciertos del test de bisílabos en los distintos grupos a los seis meses y anualmente hasta los cinco años posteriores a la implantación.

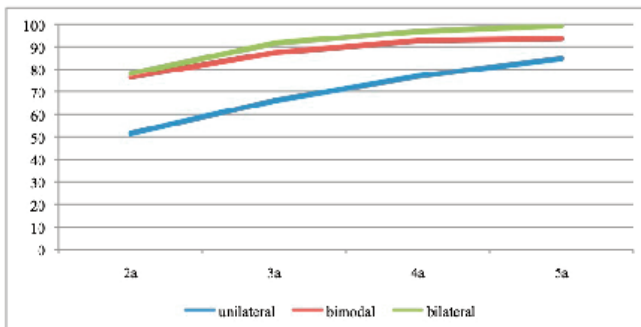


Figura 26. Media del porcentaje de aciertos del test de frases en los distintos grupos a los seis meses y anualmente hasta los cinco años posteriores a la implantación.



grupo de niños/as de 2 a 6 años, y averiguar si existen diferencias estadísticamente significativas entre estas modalidades en cada grupo de edad.

Grupo de niños/as menores de 2 años

Dentro de este grupo de edad inferior a los 2 años contamos con un total de 65 pacientes de entre los cuales 25 son niñas y 40 son niños. La edad media de implantación en este grupo es de 1.18 +/- 0,3 años. En el caso de los implantados bilateralmente de forma secuencial, se ha considerado como edad aquella a la que se colocó el segundo implante.

## **Conclusiones**

En resumen podemos concluir tras los resultados obtenidos que:

En todas las pruebas auditivas realizadas y en los distintos grupos de edad estudiados, la implantación coclear única de un oído, sin ayuda de prótesis auditiva en el contralateral, se ve ampliamente superada por la estimulación bilateral con sendos implantes cocleares o con audífono más implante coclear.

La implantación coclear bilateral ha demostrado ser la opción que mejores resultados proporciona tanto en la audiometría tonal como en las pruebas verbales en el grupo de niños/as de edades comprendidas entre los dos y los seis años. Esta la convierte en una herramienta fundamental cuando el diagnóstico se realiza de forma tardía o el tratamiento se lleva a cabo más allá de los dos primeros años de vida, para conseguir que estos niños/as alcancen su máximo potencial auditivo que les permita un desarrollo lingüístico satisfactorio.

En el caso de los menores de dos años, la implantación coclear bilateral sólo ha podido confirmar su superioridad frente a la estimulación bimodal en las pruebas verbales a partir del tercer año tras la implantación, eso sí, consiguiendo en este grupo un grado de comprensión de la palabra hablada que se iguala al que poseen los normoyentes (con un 100% de aciertos en el test de bisílabos y frases).

En la estimulación auditiva del niño/a hipoacúsico/a, la edad juega un papel fundamental puesto que, los niños/as sometidos a implantación coclear única, estimulación bimodal o implantación bilateral, de forma más precoz, han obtenido mejores resultados en las pruebas tonales y verbales respecto a los niños/as implantados más tardíamente en cada una de estas modalidades.

Los cuestionarios de IT-Mais, Nottingham y Little Ears no conforman una herramienta adecuada para comparar objetivamente los resultados que proporcionan los tres tipos de estimulación auditiva entre sí. Deben entenderse como un simple método orientativo sobre el rendimiento de estos dispositivos.

Por tanto, ante un niño/a con hipoacusia severo-profunda bilateral debemos abogar siempre por la implantación coclear bilateral lo más temprana posible, logrando, con ello, un desarrollo de las funciones auditivas y del lenguaje idéntico al de los normoyentes y que permitirá a esa criatura adaptarse a su entorno social de forma exitosa, hecho que no se puede asegurar con ninguno de los otros tipos de estimulación auditiva.

## **Bibliografía**

1. OMS: Primer informe mundial sobre la audición. <https://www.hear-it.org/es/oms-primer-informe-mundial-sobre-audicion>. 2021.
2. SOHMER, H.; FEINMESSER, M. Cochlear action potentials recorded from the external ear in man. *Ann Otol* 1967; 76.
3. JEWETT, D. L.; ROMAN, M. N.; WILLINSTON, J. S. Human auditory evoked potentials: possible brainstem components detected on the scalps. *Science* 1970; 167:1517-1518.
4. PLANTZ, R. G.; WILLINSTON, J. S.; JEWETT, D. L. Spatio-temporal distribution of auditory-evoked far field potentials in rat and cat. *Brain Research*, 1974, 68: 55-71.

5. BUCHWALD, J. S.; HUANG, C. M. Far field acoustic response: origins in the cat. *Science*, 1975, 189: 382-384.
6. HUANG, C. M.; BUCHWALD, J. S. Interpretation of the vertex short latency acoustic response: a study of single neurons in the brainstem. *Brain Research*, 1977, 137:291-303.
7. HENRY, K. A. Auditory nerve and brain stem volume conducted potentials evoked by pure- tone pips in the CBA/J laboratory mouse. *Audiology* 1979, 18: 93-108.
8. SAINZ, M. Infl uencia del ritmo de repetición del estímulo en las respuestas evocadas auditivas del tronco cerebral. *Acta Otorrinolaring. Esp.* 1981, 32: 139-146.
9. SAINZ, M. Potenciales evocados auditivos del tronco cerebral. Tesis Doctorales de la Universidad de Granada. 1981, 331: 5-15.
10. BARAJAS J. J. Característica de la respuesta normal de los potenciales evocados auditivos del tronco cerebral en el diagnóstico neurológico. Tesis Doctoral Universidad de Granada. 1985.
11. BLEGVAL, D. Binaural summation of surface recorded electrocochleographic responses. *Scandinavian Audiology* 1975, 7: 233-238.
12. JEWETT, D. L. Volume conducted potentials in response to auditory stimuli as detected by averaging in the cat. *Electoencephalography and Clinical Neurophysiology*. 1970, 28: 609-618.
13. PRASHER, D. K.; SAINZ, M.; GIBSON, W. P. R. Effect of interaural intensity differences on binaural summation of brainstem auditory-evoked potentials. *British Journal of Audiology*, 1981 15: 189-194.
14. SCHULMAN-GALAMBOS, C.; GALAMBOS, R. Brain stem evoked response audiometry in newborn hearing screening. *Arch. Otolaryngol.* 1979, 105: 86.
15. SALAMY, A.; MCKEAN, C. Postnatal development of human brain stem potentials during the fi rst year of life. *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.* 1976. 40: 418.

16. SAINZ, M.; SANTIAGO F.; RAMA, J. Estudio de las respuestas evocadas del tronco cerebral e impedanciometría en el recién nacido. *Acta Otorrinolaring. Esp.* 1981, 32: 386-389.
17. TRUNE, D. R.; MIRCHELL, C.; PHILLIPS, D. S. The relative importance of head size, gender and age on the auditory brainstem response. *Hearing Research*, 1988; 32:165-174.
18. BASTUJI, H.; GARCÍA LARREA, L. BERTRAND, O. MAUGUIERE, F. BAEP latency changes during nocturnal sleep are not correlated with sleep stages but with body temperature variations. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 1988; 70: 9-15.
19. SAINZ, M. y cols. Brainstem and middle latency auditory evoked responses in rabbits with halothane anaesthesia. *Actaotolaryngol. (Stockh)* 1987; 103: 613-619.
20. TEAS, D. C.; ELDREDGE, D.; DAVIS, H. Cochlear responses to acoustic transients: an interpretation of whole-nerve action potential. *J. Acoustic, Soc. Amer.* 1962; 34: 1438.
21. ELBERLING, C. Action potentials along the cochlear partition recorded from the ear canal in man. *Scandinavian Audiology*; 1974, 3: 13-19.
22. DOS, M.; EGGERMONT, J. J. Analysis of the click-evoked brainstem potentials in man using high pass noise masking. *J. Acoustic. Soc. Amer* 1978; 63: 1084-1092.
23. EGGERMONT, J. J.; ODENTHAL D. W. Action potential and summing potentials in the normal human cochlea. *Acta Otolaryngologica.* 1974; (suppl) 316: 39-61.
24. PICTON, T. W.; OULLETTE J.; HAMEL, G.; SMITH, A. D. Braistem evoked potentials to tone pips in notched noise. *Journal of Otolaryngology*; 1979. 8: 289-314.
25. STAPELLS, D. R.; OALES, P. Estimation of the pure-tone audiogram by the auditory brainstem response: a review. *Audiol Neurootol.* 1997. 2: 257-80.

26. PICTON, T. W.; DURIEUX-SMITH, A.; MORAN, L. M. Recording auditory brainstem response from infants. *Int. J. Pediatr Otorhinolaryngol.* 1994; 28: 93-110.
27. RUPA, V.; DAYAL, A. K. Wave V latency shifts with age and sex in normal and patients with cochlear hearing loss: development of a predictive Model. *Br. J Audiol.* 1993; 27: 273-279.
28. HAYES, D. Identification and management of infants and young children with auditory neuropath spectrum disorder. Guidelines for identification and management of infants and young children with auditory neuropathy spectrum disorder. (Report of a Conference at NHS2008, Como, Italy). Aurora, CO: The Children's Hospital- Colorado; 2-8.
29. STARR, A.; PICTON, T. W.; SININGER, Y.; HOODI, J. Berlin CI Auditory neuropathy. *Brain* 1996; 119: 741-753.
30. CLEMIS, S. D.; MC. GEE, T. Brain stem electric response audiometry in the differential diagnosis of acoustic tumors. *Laryngoscope* 1979; 89: 31-40
31. SELTERS, W.; BRACKMANN, D. Acoustic tumors detection with brainstem electric response audiometry. *Arch Otolaryngol.*, 1977; 103: 181-187.
32. EGGERMONT, J. J.; DON, M.; BRACKMANN, D. E. Electrocochleography and auditory brainstem electric responses in patients with pontine angle tumors. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 1980; 75: 1-19.
33. KEMP D.T. 1978. Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *J. Acoust. Soc. Am.* 64: 1386-1391.
34. KEMP D.T., RYAN, S., BRAY J.P. 1990. A guide to the effective use of otoacoustic emissions. *Ear Hear.* 11: 93-105.
35. KEMP D.T. RYAN S. BRAY P. 1990 . Otoacoustic emissions analysis and interpretation for clinical purposes. En: Cochlear mechanism and otoacoustic emissions. *Avd. Audiol.* Grandori F, Cianfrone F, Kemp D.T. (eds.) vol. 7, pp. 77-98.

36. Lonsbury Martin B.L., Martin G. 1990. The Clinical utility of distortion-product otoacoustic emission. *Ear and Hearing* 11, 2: 144-155.
37. GOLD T. 1948. HEARING II. The physical basis of action in the cochlea. *Proc. Roy. Soc.* B135: 492-498.
38. FLOCK A. 1983. Hair cells receptors with a motor capacity. En: *Hearing physiological bases and psychophysics*. R. Kinkle and R. Hartmann eds. Springer. New York. pp. 145-163.
39. ZENNER H.P. y col. 1990: Fast and slow mobility of outer hair cells in vitro and in situ. In cochlearmechanism and otoacoustic emissions from normal. *Avd. Audiol.* Grandori F. Cianfrone G, KempD.T. (eds.) vol. 7, pp. 35-40.
40. AVAN P. 1990. Evoked otoacoustic emissions in guinea pig. basic characteristics. *Hearing Research*.44: 151-168.
41. UZIEL A. 1991. Les otoemissions acoustiques. *Acta Otolaryngol Belg* 45, 225-236.42. BONFILS P. 1989. Spontaneous otoacoustic emissions: clinical interest. *Laryngoscope*. 99: 752-756
42. BONFILS P. 1989. Spontaneous otoacoustic emissions: clinical interest. *Laryngoscope*. 99: 752-756.
43. CABALLERO J., MARCO J., MORANT A., MALLEA I. 1994. Estudio de otoemisiones acústicas provocadas en niños. *Acta Esp Otorrinolaring*. 45: 13-18.
44. CABALLERO J. 1995. Otoemisiones acústicas provocadas en neonatos, su valor en el despistaje de lapatología auditiva. Tesis Doctoral Universidad de Valencia.
45. MARCO J. 1992. Otoemisiones acústicas. Bases Físicas. Características. Tipos. AplicacionesClínicas. En: *Potenciales Evocados Somatosen-soriales, Visuales, Auditivos*. M. Ciges, J. Artieda, M.Sainz, M. Stingl. Gráficas Anel. Granada. pp.: 339-362.
46. MARCO J., MORANT, A. CABALLERO J. 1992. Spontaneous otoacoustic emissions in healthyneonates. Prevalence and characteristics.Comunicación

presentada en el 95th Annual Meeting del American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery.

47. MARCO J., MORANT A., CABALLERO J., ORTELLS I., PAREDES C., BRINES J. 1994. Distortion product Otoacoustic emissions in healthy newborns: normative data. *Acta Otolaryng. (Stockh.)*. 115:187-189.

48. MORANT A. 1993. Variaciones de las otoemisiones provocadas tras la estimulación acústica contralateral. Tesis Doctoral Universidad de Valencia.

49. MORANT A., ORTS M., M J. 1996. Capítulo V Enfermedad de Meniere. Ponencia Oficial de la X Reunión Anual de la Sociedad Vasca de Otorrinolaringología. 93-99.

50. MORANT A., MARCO J., PITARCH M.I. 1996. Capítulo Acúfenos. Ponencia Oficial de la X Reunión Anual de la Sociedad Vasca de Otorrinolaringología. 100-103.

51. ORTS M., MORANT A., MARCO J. 1996. Capítulo V. Ototoxicidad. Ponencia Oficial de la X Reunión Anual de la Sociedad Vasca de Otorrinolaringología. 104-108.

52. ORTS ALBORCH M. 1999. Monitorización de la audición con otoemisiones acústicas en enfermos tratados con ototóxicos. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia.

53. PÉREZ B., MORANT A., CONTRERAS A., PELLICER F., MARCO J. 1993. Productos de distorsión acústica. Registros en sujetos normooyentes y con hipoacusia neurosensorial. *Acta Otorrinolaring. Esp.* 44: 419- 424.

54. SEQUI J.M., PAREDES C., BRINES J., MARCO J. 1996. Capítulo VI Screening auditivo neonatal. Ponencia Oficial de la X Reunión Anual de la Sociedad Vasca de Otorrinolaringología. 117-124.

55. DAUMAN R, CARBONNIÈRE B, SORIANO V, BERGER-LAUTISSIER S, BOUYÉ J, DEBRUGE E, BÉBÉAR JP. Implants cochléaires chez l'adulte et l'enfant. *Encycl Med Chir.* 1998; 20.

56. NICHOLAS JG, GEERS AE. Personal, social, and family adjustment in school-aged children with a cochlear implant. *Ear and Hearing*. 2003; 24(1):69S-81S.
57. NIETO CS. *Tratado de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello* (eBook online). Ed Médica Panamericana. 2015.
58. HARRISON M, ROUSH J. Age of suspicion, identification and intervention for infants and young children with hearing loss: a national study. *Ear Hear*. 1996; 17:55-62.
59. DAUMAN R, CARBONNIÈRE B, SORIANO V, BERGER-LAUTISSIER S, BOUYÉ J, DEBRUGE E, BÉBÉAR JP. Implants cochléaires chez l'adulte et l'enfant. *Encycl Med Chir*. 1998; 20.
60. MANRIQUE M, VALDIVIESO A, RUBA D, GIMENO-VILAR C, MONTES-JOVELLAR L, MANRIQUE R. Revisión de los criterios audiométricos en el tratamiento de la hipoacusia neurosensorial mediante audífonos y prótesis auditivas implantables. *Acta Otorrinolaringológica Española*. 2008; 59(1):30-38.
61. BASURA GJ, EAPEN R, BUCHMAN CA. Bilateral cochlear implantation: current concepts, indications and results. *The Laryngoscope*. 2009; 119(12):2395-2401.
62. MANRIQUE M, CERVERA-PAZ FJ, HUARTE A, MARTÍNEZ I, GOMEZ A, DE LA IGLESIA FV. Audición y lenguaje en niños menores de 2 años tratados con implantación coclear. *An Sist Sanit Navar*. 2004; 27(3):305-317.
63. WALTZMAN SB, COHEN NL. Cochlear implantation in children younger than 2 years old. *The American Journal of Otology*. 1998; 19(2):158-162.
64. MARTÍNEZ-BENEYTO P, MORANT A, PITARCH MI, LATORRE E, PLATERO A, MARCO J. La implantación coclear pediátrica en el periodo crítico de la vía auditiva, nuestra experiencia. *Acta Otorrinolaringológica Española*. 2009; 60(5):311-317.
65. HARRISON RV, GORDON KA, MOUNT RJ. Is there a critical period for cochlear implantation in congenitally deaf children? Analyses of hearing and speech



perception performance after implantation. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*. 2005; 46(3):252-261.

66. WALTZMAN SB, ROLAND JT. Cochlear implantation in children younger than 12 months. *Pediatrics*. 2005; 116(4):e487-e493.

67. GEERS AE, NICHOLAS J, TOBEY E, DAVIDSON L. Persistent language delay versus late language emergence in children with early cochlear implantation. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2016; 59(1):155-170.

68.- DETTMAN SJ, DOWELL RC, CHOO D, ARNOTT W, ABRAHAMS Y, DAVIS A, BRIGGS RJ. Long-term communication outcomes for children receiving cochlear implants younger than 12 months: A multicenter study. *Otology & Neurotology*. 2016; 37(2):e82-e95.

69. HUNTER CR, KRONENBERGER WG, CASTELLANOS I, PISONI DB. Early postimplant speech perception and language skills predict long-term language and neurocognitive outcomes following pediatric cochlear implantation. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2017; 60(8):2321-2336.

70. KAPLAN DM, PUTERMAN M. Pediatric cochlear implants in prelingual deafness: medium and long-term outcomes. *IMAJ-Israel Medical Association Journal*. 2010; 12(2):107.

71. COLLETTI L, MANDALÀ M, ZOCCANTE L, SHANNON RV, COLLETTI V. Infants versus older children fitted with cochlear implants: performance over 10 years. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2011; 75(4):504-509.

72. WIE OB. Language development in children after receiving bilateral cochlear implants between 5 and 18 months. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2010; 74(11):1258-1266.

73. NICHOLAS JG, GEERS AE. Spoken language benefits of extending cochlear implant candidacy below 12 months of age. *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology So-*

ciety [and] European Academy of Otolology and Neurotology. 2013; 34(3):532.

74. OSBERGER MJ, FISHER L, ZIMMERMAN-PHILLIPS S, GEIER L, BARKER MJ. Speech recognition performance of older children with cochlear implants. *The American Journal of Otolology*. 1998; 19(2):152-157.

75. GOVAERTS PJ, DE BEUKELAER C, DAEMERS K, DE CEULAER G, YPERMAN M, SOMERS T, OFFECIERS FE. Outcome of cochlear implantation at different ages from 0 to 6 years. *Otolology & Neurotology*. 2002; 23(6):885-890.

76. WIE OB. Language development in children after receiving bilateral cochlear implants between 5 and 18 months. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2010; 74(11):1258-1266.

77. MANRIQUE M, CERVERA-PAZ FJ, HUARTE A, MOLINA M. Advantages of cochlear implantation in prelingual deaf children before 2 years of age when compared with later implantation. *The Laryngoscope*. 2004; 114(8):1462-1469.

78. LAMMERS MJ, VAN DER HEIJDEN GJ, POURIER VE, GROLMAN W. Bilateral cochlear implantation in children: A systematic review and best-evidence synthesis. *The Laryngoscope*. 2014; 124(7):1694-1699..

79. CHOI JE, MOON IJ, KIM EY, PARK HS, KIM BK, CHUNG WH, HONG SH. Sound localization and speech perception in noise of pediatric cochlear implant recipients: Bimodal fitting versus bilateral cochlear implants. *Ear and hearing*. 2017; 38(4):426- 440.

80. PAPSIN BC, GORDON KA. Bilateral cochlear implants should be the standard for children with bilateral sensorineural deafness. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*. 2008; 16(1):69-74.

81. RUBEN RJ. Language development in the pediatric cochlear implant patient. *Laryngoscope Investigative Otolaryngology*. 2018; 209-13.

82. DETTMAN SJ, D'COSTA WA, DOWELL RC, WINTON EJ, HILL KL, WILLIAMS SS. Cochlear implants for children with significant residual hearing. *Archives of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*. 2004; 130(5):612-618.

83. ULLAURI A, CROFTS H, WILSON K, TITLEY S. Bimodal benefits of cochlear implant and hearing aid (on the non-implanted ear): a pilot study to develop a protocol and a test battery. *Cochlear Implants International*. 2007; 8(1):29-37.
84. ILLG A, BOJANOWICZ M, LESINSKI-SCHIEDAT A, LENARZ T, BÜCHNER A. Evaluation of the bimodal benefit in a large cohort of cochlear implant subjects using a contralateral hearing aid. *Otology & Neurotology*. 2014; 35(9):e240-e244.
85. CHING TY, VAN WANROOY E, DILLON H. Binaural-bimodal fitting or bilateral implantation for managing severe to profound deafness: a review. *Trends in amplification*. 2007; 11(3):161-192.
- 86 CHING TY, DAY J, VAN BUYNDER P, HOU S, ZHANG V, SEETO M, FLYNN C. Language and speech perception of young children with bimodal fitting or bilateral cochlear implants. *Cochlear implants International*. 2014; 15(sup1): S43-S46.
87. ZHANG T, DORMAN MF, SPAHR AJ. Information from the voice fundamental frequency (F0) region accounts for the majority of the benefit when acoustic stimulation is added to electric stimulation. *Ear and hearing*. 2010; 31(1):63.
88. CULLINGTON HE, ZENG FG. Comparison of bimodal and bilateral cochlear implant users on speech recognition with competing talker, music perception, affective prosody discrimination and talker identification. *Ear and hearing*. 2011; 32(1):16.
89. SUCHER CM, McDERMOTT HJ. Bimodal stimulation: benefits for music perception and sound quality. *Cochlear Implants International*. 2009; 10(S1):96-99.
90. NITTROUER S, CHAPMAN C. The effects of bilateral electric and bimodal electric acoustic stimulation on language development. *Trends in amplification*. 2009; 13(3):190-205.
91. SCHAFFER EC, AMLANI AM, PAIVA D, NOZARI L, VERRET S. A meta-analysis to compare speech recognition in noise with bilateral cochlear implants and bimodal stimulation. *International Journal of Audiology*. 2011; 50(12): 871-880.