



# MI CUERPO ELÉCTRICO

## TALLER DE BIOPOTENCIALES CARDIACOS Y POTENCIALES EVOCADOS AUDITIVOS

**Verano con Ciencia - 2025**

**Parque de las Ciencias, Julio de 2025**

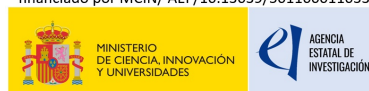
**Ángel de la Torre Vega<sup>(1,2)</sup>**  
**Isaac Manuel Álvarez Ruiz<sup>(1,2)</sup>**  
**Juan Antonio Torres Lara<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup>Dpto. Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones,  
E.T.S. Ingenierías Informática y de Telecomunicaciones,  
Universidad de Granada

<sup>(2)</sup>CITIC, Universidad de Granada

<sup>(3)</sup>Parque de las Ciencias, Andalucía - Granada

Proyecto PID2020-119073GB-I00  
financiado por MCIN/ AEI /10.13039/501100011033





# Índice general

<b>Descripción del documento</b>	<b>5</b>
<b>1. Objetivos del taller y material</b>	<b>7</b>
1.1. Objetivos del taller . . . . .	7
1.2. Material para los experimentos del taller . . . . .	7
<b>2. Desarrollo del taller: guion de la exposición</b>	<b>9</b>
2.1. Introducción . . . . .	10
2.1.1. Bienvenida al taller . . . . .	10
2.1.2. Exploración de ideas previas. Historia y mitos . . . . .	10
2.1.3. Bioelectricidad . . . . .	11
2.1.4. Medida de la bioelectricidad . . . . .	12
2.2. Mi corazón eléctrico. Registramos bipotenciales cardiacos. . . . .	13
2.2.1. Anatomía y fisiología del corazón. Inervación . . . . .	13
2.2.2. Registro e interpretación de biopotenciales cardiacos . . . . .	14
2.2.3. Relación ciencia/ingeniería/tecnología para la salud. ECG en clínica. Marcapasos . . . . .	15
2.3. Mi oído eléctrico. Registramos señales eléctricas del sistema auditivo . . . . .	16
2.3.1. ¿Qué es el sonido? . . . . .	17
2.3.2. Anatomía y fisiología del sistema auditivo . . . . .	17
2.3.3. Registro de potenciales evocados auditivos (1): clicks . . . . .	18
2.3.4. Registro de potenciales evocados auditivos (2): fonemas . . . . .	19
2.3.5. Relación ciencia/ingeniería/tecnología para la salud. AEPs en clínica. Implante coclear . . . . .	21
2.4. Resumen y conclusiones del taller . . . . .	21
<b>3. Comentarios detallados</b>	<b>23</b>
3.1. Bloque 1: Introducción . . . . .	23
3.1.1. Bienvenida al taller . . . . .	23
3.1.2. Exploración de ideas previas. Historia y mitos . . . . .	24
3.1.3. Bioelectricidad . . . . .	26
3.1.4. Medida de la bioelectricidad . . . . .	26
3.2. Bloque 2: registro de bipotenciales cardiacos . . . . .	27
3.2.1. Anatomía y fisiología del corazón. Inervación . . . . .	27
3.2.2. Registro e interpretación de biopotenciales cardiacos . . . . .	29

3.2.3.	Relación ciencia/ingeniería/tecnología para la salud. ECG en clínica. Marcapasos . . . . .	32
3.3.	Bloque 3: registro de potenciales evocados auditivos . . . . .	33
3.3.1.	¿Qué es el sonido? . . . . .	34
3.3.2.	Anatomía y fisiología del sistema auditivo . . . . .	34
3.3.3.	Registro de potenciales evocados auditivos (1): clicks . . . . .	36
3.3.4.	Registro de potenciales evocados auditivos (2): fonemas . . . . .	40
3.3.5.	Relación ciencia/ingeniería/tecnología para la salud. AEPs en clínica. Implante coclear . . . . .	43
3.4.	Bloque 4: Resumen y conclusiones del taller . . . . .	45
3.5.	Diapositivas complementarias . . . . .	46
<b>4.</b>	<b>Montaje de los experimentos</b>	<b>49</b>
<b>5.</b>	<b>Contribución de los autores y agradecimientos</b>	<b>53</b>

# Descripción del documento

El presente documento describe el taller “Mi cuerpo eléctrico: Taller de biopotenciales cardíacos y potenciales evocados auditivos”, elaborado en colaboración entre la Universidad de Granada y el Parque de las Ciencias de Andalucía - Granada, para su realización en el marco de las actividades “Verano con Ciencia” a celebrar en las instalaciones del Parque de las Ciencias en Julio de 2025.

Este documento está concebido como guía para los monitores que van a conducir el taller. Por una parte pretende proporcionarles información de referencia para entender o consultar los conceptos presentados a los participantes en el taller (el taller está concebido para grupos de niños y niñas de edades próximas a los 10 o 12 años). Por otra parte propone una presentación concisa del taller, de modo que pueda desarrollarse de forma dinámica en el tiempo previsto (una hora incluyendo la presentación, las explicaciones, la realización de experimentos y la presentación de conclusiones).

El documento se ha estructurado en varias partes. En primer lugar, se enumeran los objetivos del taller y los recursos materiales utilizados. A continuación se presenta la exposición compacta del taller, apropiada como guion para el desarrollo del mismo en el tiempo previsto. Sigue con una exposición más detallada, incluyendo datos complementarios (que evidentemente no pueden incluirse en el taller por la limitación en tiempo del mismo) que consideramos de utilidad para los monitores o docentes, para disponer de un conocimiento más profundo de la ciencia y la tecnología que fundamenta los conceptos y experimentos presentados. Esta información complementaria puede resultar particularmente útil para atender dudas que pudieran plantear los participantes en el taller. Finalmente se incluye un listado de material y el esquema de montaje del equipo de registro de biopotenciales utilizado para los experimentos.

Si bien este documento está inicialmente concebido para la preparación del taller en el marco del “Verano con Ciencia” del Parque de las Ciencias, los autores confiamos en su utilidad posterior para realización de futuros talleres, así como para actividades divulgativas y educativas en colegios o centros de educación secundaria.



# Parte 1

## Objetivos del taller y material

### 1.1. Objetivos del taller

El presente taller está inicialmente pensado para su realización en una sesión de una hora, incluyendo una introducción / presentación, explicaciones científicas y tecnológicas, realización de experimentos y resumen y conclusiones. Está dirigido a niños y niñas de último ciclo de educación primaria (10 - 12 años), si bien puede adaptarse fácilmente a niños de otras edades, o a un formato de presentación en dos sesiones (o en dos talleres). Los objetivos perseguidos en este taller son los siguientes:

1. Comprender qué es la bioelectricidad, cómo se produce y qué función tiene en nuestro cuerpo.
2. Relacionar la bioelectricidad con la transmisión de señales necesarias para sincronizar la actividad cerebral, el movimiento, el latido cardiaco, la audición, etc.
3. Capturar e interpretar las señales eléctricas de nuestro cuerpo.
  - Captura de biopotenciales cardiacos (como las señales de electrocardiografía, ECG).
  - Captura de potenciales evocados auditivos.
4. Conectar conceptos de ciencia, salud y tecnología con ejemplos reales.
5. Fomentar la curiosidad, el pensamiento crítico y las vocaciones STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) y más concretamente las vocaciones hacia la ingeniería en telecomunicaciones.

### 1.2. Material para los experimentos del taller

A lo largo del taller se presentará la información con apoyo de material gráfico y medios audiovisuales y se llevarán a cabo varios experimentos. Para la realización de las actividades es necesario el siguiente material, proporcionado por el Parque de las Ciencias y por la Universidad de Granada:

1. Electric stick: equipo que detecta el cierre de un circuito (aun con alta impedancia) iluminándose y generando sonido cuando hay conducción eléctrica. Demuestra conductividad de los tejidos del cuerpo. Puede sustituirse por un polímetro convencional.
2. Máquina de Wimshurst: máquina electrostática que genera descargas con arcos de varios cm (descargas de varios kV), para recrear los experimentos asociados al mito de Frankenstein.
3. Plastinados de corazón: para mostrar cavidades y válvulas.
4. Marcapasos cardíaco.
5. Muelle slinky: para ilustrar la propagación de ondas mecánicas longitudinales (al igual que el sonido).
6. Doble tambor: para ilustrar la propagación del sonido y la capacidad de la onda acústica para transmitir energía sin desplazamiento neto de materia. Ilustra también el funcionamiento del tímpano.
7. Modelo de oído, incluyendo pabellón, conducto auditivo externo, oído medio, cóclea y nervio auditivo.
8. Modelo de cóclea.
9. Micrófono, cable, amplificador: para ilustrar el papel del micrófono y la cóclea como transductores (transformación de onda acústica en señal eléctrica).
10. Modelo de sistema de implante coclear, incluyendo procesador, unidad de control y elemento implantable (con elemento electrónico, imán, guía de electrodos intracocleares y electrodo de referencia).
11. Equipo de registro de biopotenciales.
12. Equipo de proyección (incluyendo ordenador, proyector, pantalla) para presentar material gráfico y para mostrar los experimentos de registro de biopotenciales. El material gráfico está también disponible en fichas impresas en tamaño A3.



## Parte 2

# Desarrollo del taller: guion de la exposición

El taller “Mi cuerpo eléctrico: Taller de biopotenciales cardiacos y potenciales evocados auditivos” se ha estructurado en 4 partes: (1) introducción; (2) registro de señales eléctricas del corazón; (3) registro de señales eléctricas del sistema auditivo; y (4) resumen y conclusiones del taller. En cada una de estas partes se abordan los aspectos enumerados a continuación:

1. Introducción.
  - a)* Bienvenida.
  - b)* Exploración de ideas previas. Historia y mitos.
  - c)* Bioelectricidad.
  - d)* Tecnología para medir las señales bioeléctricas.
2. Mi corazón eléctrico. Registramos las señales eléctricas del corazón.
  - a)* Anatomía y fisiología del corazón. Inervación.
  - b)* Registro e interpretación de biopotenciales cardiacos.
  - c)* Relación Ciencia-Ingeniería-Tecnología para la salud. ECG en clínica. Marcapasos.
3. Mi oído eléctrico. Registramos las señales eléctricas del sistema auditivo.
  - a)* Qué es el sonido.
  - b)* Anatomía y fisiología del sistema auditivo.
  - c)* Registro de potenciales evocados auditivos (1: clicks). Interpretación.
  - d)* Registro de potenciales evocados auditivos (2: fonemas). Interpretación.
  - e)* Relación Ciencia-Ingeniería-Tecnología para la salud. AEPs en clínica. Implante coclear.
4. Resumen y conclusiones del taller: ¿Qué hemos aprendido? Generamos vocaciones.

Para facilitar el desarrollo del taller, se ha preparado una exposición con 19 transparencias / diapositivas (más dos de apoyo), que se han impreso en fichas (en tamaño A3). Este material puede usarse para guiar el taller, bien mediante proyección con medios audiovisuales, o bien mostrando las fichas a los participantes.

En las siguientes secciones se presenta el guion de la exposición, organizado en estos cuatro bloques, con las explicaciones sugeridas a los monitores para los participantes (para cada una de las fichas).

## 2.1. Introducción

En este bloque nos presentamos, exploramos los conocimientos previos y motivamos a los participantes. Al comenzar, está preparado el sistema de registro. También está preparada la máquina de Wimshurst. En pantalla se proyecta la primera diapositiva.

### 2.1.1. Bienvenida al taller



**Diapositiva 1: Bienvenida.**

(Bienvenida). DAMOS LA BIENVENIDA AL TALLER “MI CUERPO ELÉCTRICO”. ESTAMOS EN EL “ANFITEATRO ANATÓMICO DEL PARQUE DE LAS CIENCIAS”.

### 2.1.2. Exploración de ideas previas. Historia y mitos

(Exploración de ideas previas). ¿POR QUÉ SE LLAMA ASÍ EL TALLER? ¿QUÉ PENSÁIS QUE VAMOS A HACER? ¿NUESTRO CUERPO ES ELÉCTRICO? (Dejamos que opinen)


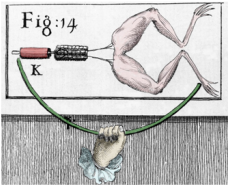

(EXPERIENCIA 1: Electric stick). NUESTRO CUERPO CONDUCE LA CORRIENTE ELÉCTRICA. DEMOSTRACIÓN, CERRANDO Y ABRIENDO EL CIRCUITO. ¿POR QUÉ CONDUCE? ¿Y DESDE CUÁNDO SE CONOCE QUE NUESTRO CUERPO ES ELÉCTRICO?

(EXPERIENCIA 2: Máquina de Wimshurst. Movemos la manivela del generador). QUE LA MATERIA TIENE CARGAS ELÉCTRICAS POSITIVAS Y NEGATIVAS ERA CONOCIDO DESDE HACE MÁS DE 300 AÑOS.

(Experimento de Luigi Galvani con ranas). RELACIÓN ENTRE ELECTRICIDAD Y ACTIVIDAD EN RANA DISECCIONADA. PARECÍA COMO SI LA ELECTRICIDAD DE LA TORMENTA HICIERA QUE LAS PATAS COBRARAN VIDA.

## Historia

- Luigi Galvani (1737-1798)

**Diapositiva 2: El experimento de Galvani.**

(El mito de Frankenstein y la película Frankenweenie). **LA ELECTRICIDAD PARECÍA SER “LA CHISPA DE LA VIDA”.** **APLICANDO DESCARGAS PODRÍAMOS HACER VOLVER A LA VIDA.** **LA PELÍCULA FRANKENWEENIE. NOVELA FRANKENSTEIN. NO SE PUEDE.**

## Frankenstein, el moderno Prometeo (1818)








**Diapositiva 3: El mito de Frankenstein.**

### 2.1.3. Bioelectricidad

(Bioelectricidad). **NUESTRO CUERPO PRODUCE CORRIENTES ELÉCTRICAS, Y ESE FENÓMENO SE CONOCE COMO BIOELECTRICIDAD.**

## La electricidad en el cuerpo

1. **Los sentidos:**
  - vista, tacto, oído, olfato, gusto, propiocepción
2. **Los músculos**
3. **Los nervios:**
  - Transmisión de estímulos sensoriales
  - Transmisión de estímulos motores
4. **El cerebro:**
  - Procesado de estímulos sensoriales
  - Generación de estímulos motores

**Diapositiva 4: Bioelectricidad: electricidad en nuestro cuerpo.**

¿DÓNDE HAY ELECTRICIDAD EN NUESTRO CUERPO? EN LOS SENTIDOS (SEÑALES ELÉCTRICAS QUE LLEGAN AL CEREBRO), EN LOS MÚSCULOS, EN LOS NERVIOS (TRANSMISIÓN DE ESTÍMULOS), EN EL CEREBRO.

### 2.1.4. Medida de la bioelectricidad

(Tecnología para medir la bioelectricidad). ¿PODEMOS “VER” LAS SEÑALES ELÉCTRICAS QUE PRODUCE NUESTRO CUERPO? PODEMOS REGISTRARLAS, MEDIRLAS, ANALIZARLAS. TECNOLOGÍA EFICIENTE CON COMPONENTES COMPRADOS EN TIENDA DE MÚSICA.



**Diapositiva 5: El sistema de registro.**

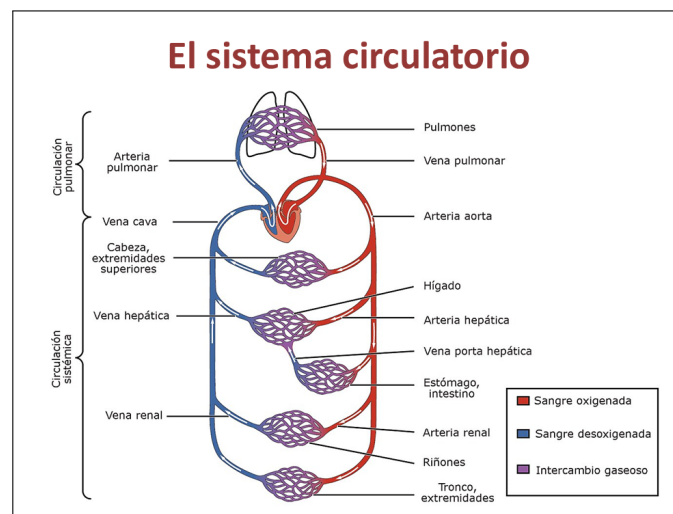
ELEMENTOS DEL SISTEMA DE REGISTRO: ELECTRODOS, PREAMPLIFICADOR, INTERFAZ DE AUDIO, ORDENADOR, AURICULARES O ALTAVOZ (PARA OÍR LAS SEÑALES), BATERÍA, AISLAMIENTO (PARA REDUCIR RUIDO, Y GARANTIZAR SEGURIDAD)

## 2.2. Mi corazón eléctrico. Registramos bipotenciales cardiacos.

BIOELECTRICIDAD: EMPEZAREMOS CON EL CORAZÓN (FÁCIL DE MEDIR).

### 2.2.1. Anatomía y fisiología del corazón. Inervación

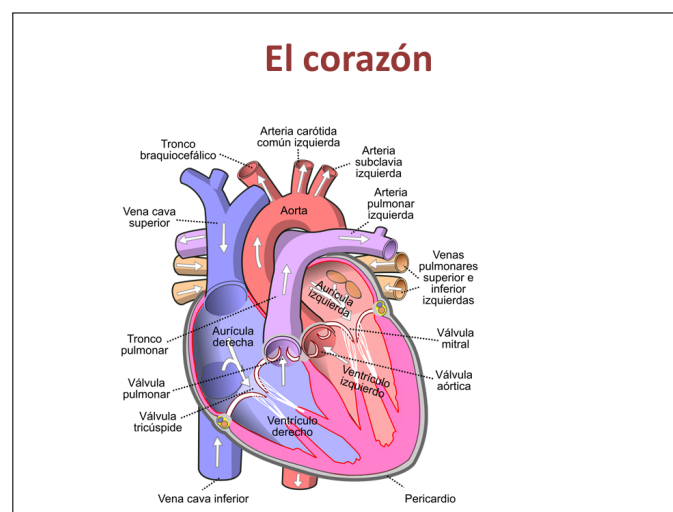
(El sistema circulatorio). FUNCIÓN DEL SISTEMA CIRCULATORIO. FUNCIÓN DEL CORAZÓN.



Diapositiva 6: El sistema circulatorio.

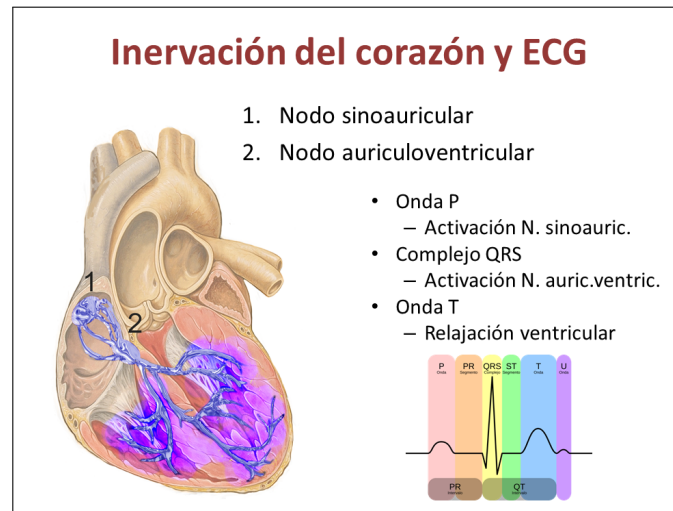
(EXPERIENCIA 3: Notamos el pulso en la arteria radial o la carótida). APRENDEMOS A MEDIR EL PULSO CARDIACO EN LA ARTERIA RADIAL O EN LA CARÓTIDA.

(Anatomía del corazón). CÁMARAS DEL CORAZÓN. FUNCIONAMIENTO DEL CORAZÓN.



Diapositiva 7: Las cavidades del corazón.

(EXPERIENCIA 4: Mostramos un corazón plastinado). **MOSTRAMOS LAS DOS AURÍCULAS Y LOS DOS VENTRÍCULOS.**

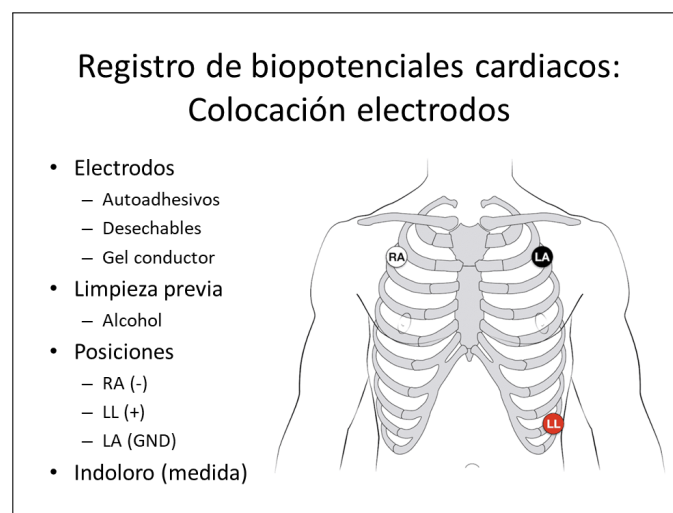


**Diapositiva 8: Actividad eléctrica del corazón.**

(Inervación del corazón y actividad eléctrica). **LOS DOS “NODOS” O AGRUPACIONES DE NÚCLEOS DE NEURONAS. CONTRACCIÓN DE AURÍCULAS. CONTRACCIÓN DE VENTRÍCULOS. ACTIVIDAD ELÉCTRICA: ECG Y ONDAS P, QRS, T.**

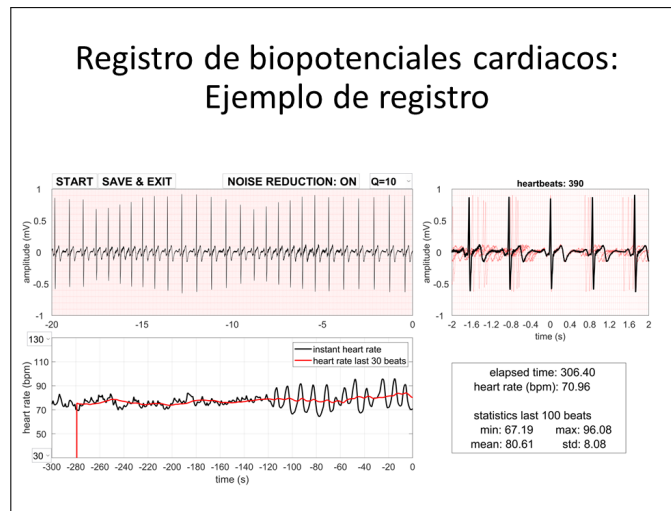
## 2.2.2. Registro e interpretación de biopotenciales cardiacos

(Anunciamos el experimento). **VAMOS A MEDIR LOS BIOPOTENCIALES CARDIACOS, LA ACTIVIDAD ELÉCTRICA DEL CORAZÓN.**



**Diapositiva 9: Medida de biopotenciales cardiacos. Colocación de electrodos.**

(Colocación de los electrodos). **TRES ELECTRODOS, BAJO LAS CLAVÍCULAS Y SOBRE COSTILLA FLOTANTE COSTADO IZQUIERDO. PROCEDIMIENTO DE COLOCACIÓN DE ELECTRODOS. CONEXIÓN.**



**Diapositiva 10: Registro de biopotenciales cardiacos.**

(Descripción de registro). **BIOPOTENCIAL REGISTRADO EN TIEMPO REAL. ÚLTIMOS PULSOS CARDIACOS DETECTADOS CON ONDAS P, QRS, T. MEDIDA DEL RITMO CARDIACO EN PPM.**

(EXPERIENCIA 5: Registro de biopotenciales cardiacos. INICIAMOS SCRIPT ECG. ACTIVAMOS 48 V. PULSAMOS “START”. EXPLICAMOS LOS PULSOS. EXPLICAMOS LAS ONDAS P, QRS, T. EXPLICAMOS EL RITMO CARDIACO. RUIDO MUSCULAR (MOVER BRAZO DE-RECHO O RESPIRACIÓN DIAFRAGMÁTICA). CONCEPTO DE RUIDO.

(EXPERIENCIA 6: Oímos los biopotenciales cardiacos). SUBIMOS EL VOLUMEN DEL AMPLIFICADOR DE AUDIO PARA OÍR LA SEÑAL REGISTRADA. OÍMOS EL LATIDO (ACTIVIDAD ELÉCTRICA CONVERTIDA EN SONIDO). RUIDO DE ACTIVIDAD MUSCULAR.

(EXPERIENCIA 7: Cambios en el ritmo cardiaco. Bajamos volumen al amplificador de audio). PEDIMOS AL VOLUNTARIO QUE SE RELAJE, PARA QUE BAJE EL RITMO CARDIACO. PEDIMOS QUE HAGA SENTADILLAS (SUBE). PEDIMOS DE NUEVO QUE SE RELAJE (BAJA). EXPLICAMOS POR QUÉ (Y CÓMO) SUBE O BAJA.

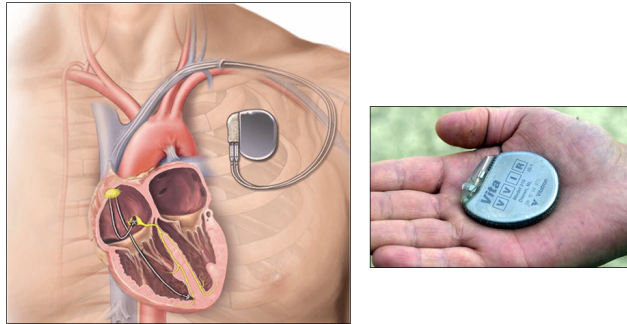
(EXPERIENCIA 8: Fluctuación del ritmo cardiaco con la respiración. OSCILACIÓN DEL RITMO CARDIACO ASOCIADA A PREDOMINIO DE SISTEMA NERVIOSO PARASIMPÁTICO (RELAJACIÓN) CON RESPECTO AL SISTEMA NERVIOSO SIMPÁTICO (ESTRÉS).

Fin de los experimentos con registro de biopotenciales cardiacos. Apagamos 48 V phantom. Despegamos electrodos. Limpiamos la piel para retirar el gel conductor o restos de adhesivo. Desconectamos los electrodos del cable. Volvemos a la presentación.

### 2.2.3. Relación ciencia/ingeniería/tecnología para la salud. ECG en clínica. Marcapasos

(Uso de biopotenciales cardiacos en clínica). **USO CLÍNICO DE ECG.**

## Estimulación eléctrica cardíaca: el marcapasos



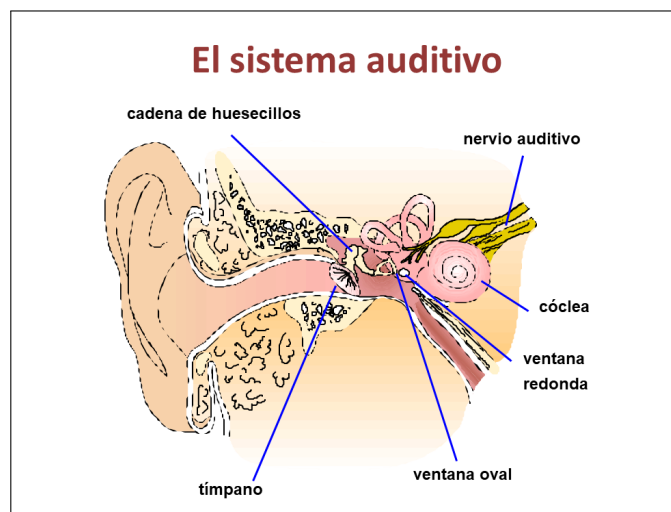
**Diapositiva 11: El marcapasos.**

(Descripción del marcapasos). IGUAL QUE EL CORAZÓN GENERA ACTIVIDAD ELÉCTRICA, PODEMOS APLICAR ACTIVIDAD ELÉCTRICA AL CORAZÓN PARA SOLUCIONAR ENFERMEDADES CARDIACAS. EL MARCAPASOS.

(EXPERIENCIA 9: Observamos un marcapasos. OBSERVAMOS UN MARCAPASOS. EXPLICAMOS FUNCIONAMIENTO.

## 2.3. Mi oído eléctrico. Registramos señales eléctricas del sistema auditivo

(Introducción). VAMOS A ESTUDIAR LAS SEÑALES ELÉCTRICAS DEL SISTEMA AUDITIVO. EXPLICAREMOS LA AUDICIÓN. MEDIREMOS LA SEÑAL BIOELÉCTRICA ASOCIADA A LA AUDICIÓN.



**Diapositiva 12: El sistema auditivo.**



### 2.3.1. ¿Qué es el sonido?

(EXPERIENCIA 10: Muelle slinky. Visualización de ondas longitudinales). ONDA. ONDA LONGITUDINAL. TRANSPORTE DE ENERGÍA (E INFORMACIÓN) SIN TRANSPORTE DE MATERIA.

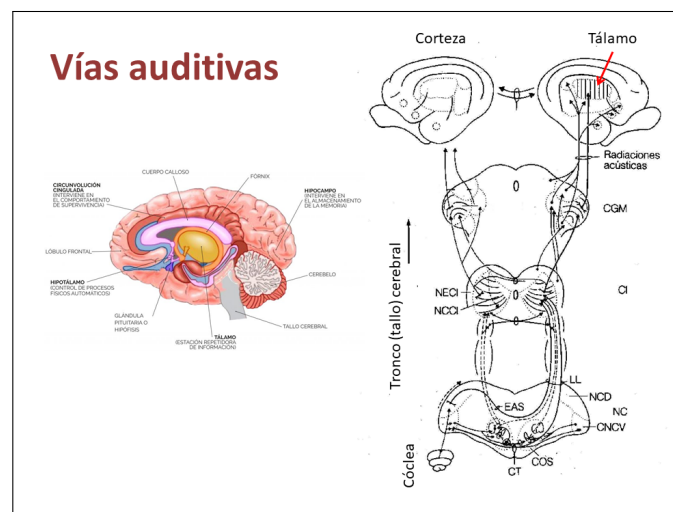
(EXPERIENCIA 11: Doble tambor. El sonido transporta energía). EXPERIMENTO DEL DOBLE TAMBOR. TRANSPORTE DE ENERGÍA. SIMILITUD CON EL TÍMPANO.

### 2.3.2. Anatomía y fisiología del sistema auditivo

(Descripción del sistema auditivo) FUNCIÓN DEL SISTEMA AUDITIVO. MODELO. ANATOMÍA. FISIOLOGÍA. LA TRANSDUCCIÓN AUDITIVA EN LA CÓCLEA.

(EXPERIENCIA 12: Micrófono. Comparamos la transducción auditiva en la cóclea con la función de un micrófono). CONECTAMOS MICRÓFONO AL AMPLIFICADOR. ANALOGÍA MICRÓFONO/CÓCLEA; CABLE/NERVIO; ORDENADOR O AMPLIFICADOR/CEREBRO. IMPORTANCIA DE LA CÓCLEA.

(EXPERIENCIA 13: Modelo de cóclea. Describimos la transducción auditiva con el modelo de cóclea rectificada). TRANSDUCCIÓN EN LA CÓCLEA: CÉLULAS CILIADAS Y ACTIVACIÓN NERVIO AUDITIVO.

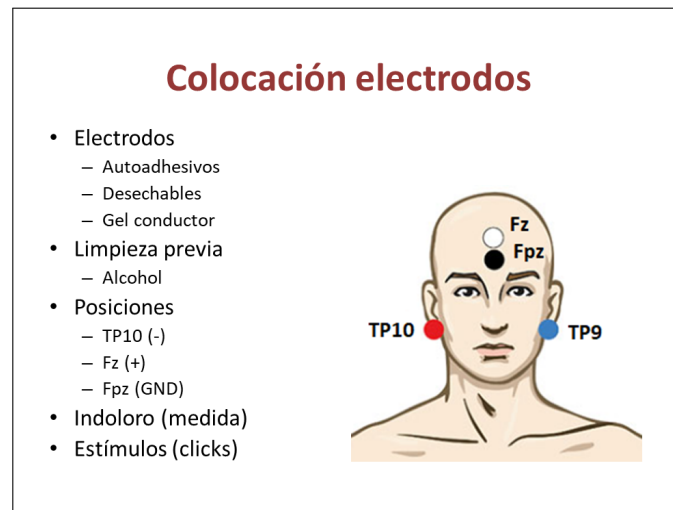


Diapositiva 13: Las vías auditivas.

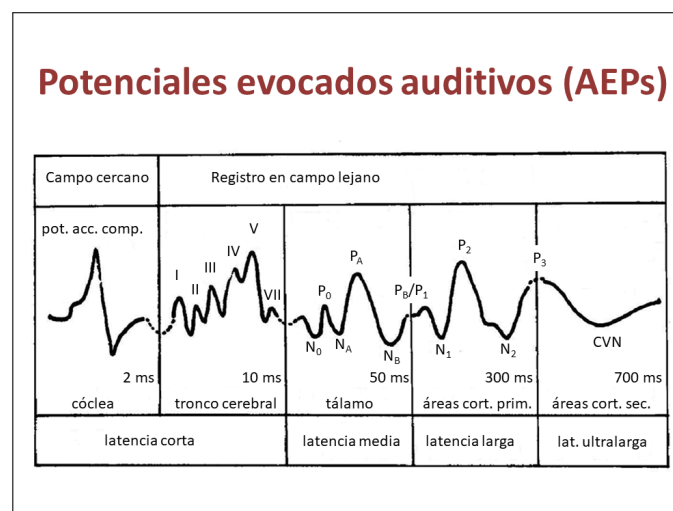
(Las vías auditivas) ESTACIONES DE LAS VÍAS AUDITIVAS: CÓCLEA, NERVIO, TRONCO, TÁLAMO, CORTEZA (ÁREAS PRIMARIAS, ÁREAS SECUNDARIAS). FUNCIÓN. PROPAGACIÓN Y LATENCIA. PERCEPCIÓN INCONSCIENTE Y CONSCIENTE.

### 2.3.3. Registro de potenciales evocados auditivos (1): clicks

(Anunciamos el experimento. Colocación de electrodos). **QUÉ SON POTENCIALES EVO-  
CADOS AUDITIVOS Y CÓMO SE MIDEN. COLOCAMOS ELECTRODOS.**

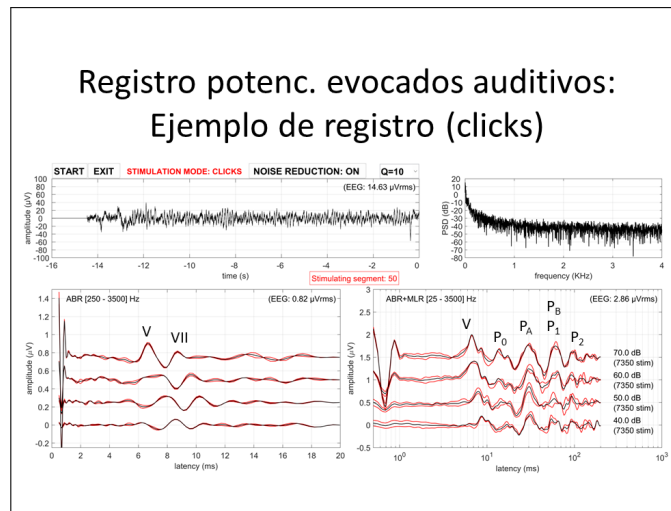


**Diapositiva 14: Colocación de los electrodos para registro de potenciales evocados auditivos.**



**Diapositiva 15: Esquema de ondas en potenciales evocados auditivos.**

(Descripción estándar de ondas evocadas con clicks). **AMPLITUD EN FUNCIÓN DE LA LA-  
TENCIA. POTENCIALES DE TRONCO. DE LATENCIA MEDIA. DE LATENCIA LARGA Y UL-  
TRALARGA. PERIFÉRICOS VS. CENTRALES. PERCEPCIÓN INCONSCIENTE, CONSCIENTE.  
LATENCIA Y GENERACIÓN EN VÍAS AUDITIVAS.**



**Diapositiva 16: Ejemplo de registro de AEPs usando clicks.**

(Descripción de registro con clicks). **PROBLEMA CON LA AMPLITUD Y EL RUIDO. PROMEDIACIÓN PARA REDUCIR RUIDO. 5 O 10 MINUTOS DE PROMEDIACIÓN.**

**RESPUESTAS A DISTINTOS NIVELES DE ESTIMULACIÓN. EL PROMEDIO DE TODOS (NEGRO) DE MITADES (ROJO). EFECTO DEL RUIDO.**

**IDENTIFICACIÓN DE ONDAS. CAMBIOS EN LAS ONDAS CON LA INTENSIDAD DE ESTIMULACIÓN. INTERPRETACIÓN DE LAS ONDAS: INDICADOR OBJETIVO DE PERCEPCIÓN.**

(EXPERIENCIA 14: Registro de evocados auditivos usando clicks. Iniciamos el script de AEP-clicks en MATLAB; activamos los 48 V. Pulsamos el botón “START”). **ANALIZAMOS BIOPOTENCIAL Y RUIDO. PARPADEO, TRAGAR SALIVA, APRETAR DIENTES... RUIDO MUSCULAR. DEBE EVITARSE. NIVEL DE RUIDO RMS (PREFERENTEMENTE MENOR DE 10 MICRO-V).**

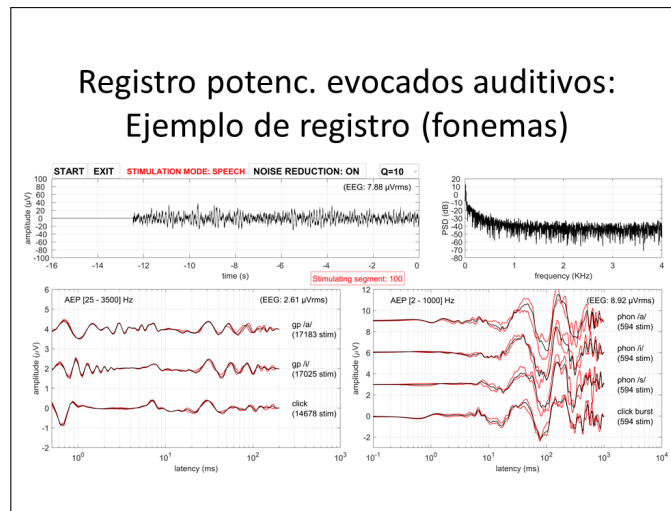
**ESTÍMULO AUDITIVO. CLICKS. SECUENCIACIÓN DE LOS CLICKS Y ORGANIZACIÓN EN SEGMENTOS. PRESENTAMOS EL ESTÍMULO A TRAVÉS DEL AMPLIFICADOR. PONEMOS AURICULARES AL VOLUNTARIO. NIVEL AUDITIVO CONFORTABLE PARA EL VOLUNTARIO. INSTRUCCIONES DE RELAJACIÓN. PEDIMOS SILENCIO A LA AUDIENCIA.**

**PARAMOS REGISTRO. BORRAMOS. EMPEZAMOS A REGISTRAR CON MÍNIMO RUIDO. TRAS UNOS 5 MINUTOS (20 SEGMENTOS), PARAMOS LA ADQUISICIÓN Y ANALIZAMOS LAS ONDAS DEL REGISTRO.**

Fin de los experimentos de registro de potenciales evocados auditivos con clicks. Podemos cambiar de voluntario o mantenerlo. Si cambiamos de voluntario apagamos 48 V phantom, depegamos electrodos, limpiamos la piel, desconectamos los electrodos del cable. Pedimos un segundo voluntario para el siguiente experimento y vamos colocando los electrodos.

## 2.3.4. Registro de potenciales evocados auditivos (2): fonemas

Se va a realizar un segundo experimento de registro de potenciales evocados auditivos, usando como estímulo fonemas sintéticos.



**Diapositiva 17: Ejemplo de registro de AEPs usando fonemas sintéticos.**

MOTIVACIÓN DE USO DE FONEMAS: EXPERIMENTO MÁS ADECUADO PARA VER ACTIVIDAD CORTICAL. MÁS DIVERTIDO. CUATRO FONEMAS SINTÉTICOS (/a/, /i/, /s/ Y “PEDORRETA”).

EXPLICAMOS FONEMAS SORDOS/SONOROS, VIBRACIÓN CUERDAS VOCALES. ESTRUCTURA DE LA SEÑAL EN UN FONEMA SONORO. EVENTOS RÁPIDOS (PULSOS GLOTALES DE LA /a/ Y LA /i/ O CLICKS EN LA “PEDORRETA”) Y EVENTOS LENTOS (FONEMAS). LA /s/ NO TIENE ESTRUCTURA INTERNA.

EXPLICAMOS EXPERIMENTO: PRESENTAREMOS FONEMAS, REGISTRAREMOS BIOPO- TENCIALES. OBTENDREMOS, POR UNA PARTE, LA RESPUESTA A EVENTOS RÁPIDOS, Y POR OTRA, LA RESPUESTA A CADA FONEMA. PEDIREMOS MUCHA ATENCIÓN AL FONEMA ESCUCHADO.

(EXERENCIA 15: Registro de evocados auditivos usando fonemas sintéticos. Iniciamos el script de AEP-phonemes en MATLAB; activamos los 48 V. Pulsamos el botón “START” en la aplicación). PEDIMOS QUE ESTÉ RELAJADO, SIN ACTIVIDAD MUSCULAR, PERO ATENTO AL FONEMA, O QUE SE IMAGINE UNA ACCIÓN MOTORA DETERMINADA CON CADA FONEMA.

EXPLICAMOS EL PATRÓN DE ESTIMULACIÓN. LO ESCUCHAMOS CON EL AMPLIFICA- DOR. PONEMOS LOS AURICULARES. RECORDAMOS LAS INSTRUCCIONES AL VOLUNTA- RIO.

DETENEMOS LA ADQUISICIÓN “DE PRUEBA”. COMENZAMOS CON LA ADQUISICIÓN BUENA.

TRAS EL REGISTRO DE 15 O 20 SEGMENTOS (4 O 5 MINUTOS), SI EL NIVEL DE RUIDO ES BAJO Y SE OBSERVAN RESPUESTAS CLARAS, PODEMOS DETENER LA ADQUISICIÓN Y PROCEDAMOS A ANALIZARLA. PANEL DE EVENTOS RÁPIDOS CON ONDAS DE TRONCO Y LATENCIA MEDIA. PANEL DE FONEMAS, CON ONDAS CORTICALES.

IDENTIFICACIÓN DE ARTEFACTO Y DE LAS DISTINTAS ONDAS DE LA RESPUESTA. IN- TERPRETACIÓN DE LAS ONDAS: PERCEPCIÓN NO CONSCIENTE. PERCEPCIÓN CONSCIENTE. RESPUESTA QUE INDICA ESFUERZO DE ATENCIÓN Y PERCEPCIÓN CONSCIENTE.

Fin de los experimentos de registro de potenciales evocados auditivos con fonemas. Apagamos 48 V phantom, despegamos electrodos, limpiamos la piel, desconectamos los electrodos del cable. Volvemos a la presentación.

### 2.3.5. Relación ciencia/ingeniería/tecnología para la salud. AEPs en clínica. Implante coclear

(Uso de potenciales evocados auditivos en clínica). **USO DE POTENCIALES EVOCADOS AUDITIVOS PARA EVALUAR PERCEPCIÓN AUDITIVA. USO PARA OTRAS PATOLOGÍAS DEL NERVIIO AUDITIVO O PARA VALORAR LA ATENCIÓN AUDITIVA. USO EN INVESTIGACIÓN.**



**Diapositiva 18: Sistema de implante coclear.**

(Descripción del implante coclear). **AUDICIÓN NORMAL: EL SISTEMA AUDITIVO GENERA ACTIVIDAD ELÉCTRICA. SI NO FUNCIONA LA TRANSDUCCIÓN AUDITIVA, SORDERA “NEUROSENSORIAL”. EN ESE CASO, PODEMOS INTRODUCIR UNA ACTIVIDAD ELÉCTRICA. IMPLANTE COCLEAR.**

**DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE IMPLANTE COCLEAR. PARTE INTERNA. PARTE EXTERNA. FUNCIONAMIENTO. BENEFICIOS: PROPORCIONA SENSACIÓN AUDITIVA CON AUDICIÓN DE CALIDAD.**

**(EXERENCIA 16: Modelo de implante coclear. MAQUETA DE IMPLANTE COCLEAR A TAMAÑO REAL. PARTE INTERNA Y ELEMENTOS. PARTE EXTERNA. UNIDAD DE CONTROL. CIRUGÍA. EXPERIENCIA EN EL HU S. CECILIO DE GRANADA. BENEFICIOS DEL IMPLANTE COCLEAR.**

## 2.4. Resumen y conclusiones del taller

**RESUMEN DEL TALLER. ¿QUÉ HEMOS APRENDIDO? EXPERIMENTOS. ACTIVIDAD ELÉCTRICA DEL CORAZÓN. ACTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SISTEMA AUDITIVO.**

TAMBIÉN HEMOS PRESENTADO EL MARAVILLOSO MUNDO DE LAS SEÑALES (Y DEL RUIDO).

LA INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES ESTUDIA SEÑALES Y RUIDO. LA INGENIERÍA ES APLICADA A LA CIENCIA, BIOLOGÍA, MEDICINA Y MEJORA EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y LA SALUD.

¿QUIERES PARTICIPAR DE ESTA AVENTURA? ¡TÚ TAMBIÉN PUEDES SER INGENIERO!.  
¡TÚ TAMBIÉN PUEDES SER INGENIERA!



Parque de las Ciencias  
ANDALUCÍA - GRANADA

## ¡¡Muchas gracias!!



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

- El maravilloso mundo de las señales (y el ruido)
- Tú puedes ser ingeniero
- Tú puedes ser ingeniera
- Biología/salud – ingeniería
- Tecnología al alcance de los colegios

Proyecto PID2020-119075GB-100  
financiado por MCIN/AEI/10.13030/501100011033



Proyecto P21.00152



**Diapositiva 19: Ideas fundamentales del taller.**

## Parte 3

### Comentarios detallados

En esta parte del documento reproducimos la descripción realizada en la parte anterior, con el mismo material gráfico y experimentos, pero proporcionando comentarios detallados de los experimentos y conceptos para proporcionar a los monitores del taller un conocimiento más profundo de los conceptos relacionados con las actividades desarrolladas.

#### 3.1. Bloque 1: Introducción

En este bloque nos presentamos, exploramos los conocimientos previos y motivamos a los participantes. Al comenzar, está preparado el sistema de registro. También está preparada la máquina de Wimshurst. En pantalla se proyecta la primera diapositiva.

##### 3.1.1. Bienvenida al taller



**Diapositiva 1: Bienvenida.**

(Bienvenida). Bienvenidos al taller “Mi cuerpo Eléctrico”. Estamos en el Anfiteatro Anatómi-

co del Parque de las Ciencias. Este lugar simula el espacio que existía en las facultades de medicina y que estaba destinado a la enseñanza y las demostraciones de anatomía. En espacios como éste se realizaban disecciones de cadáveres, o de animales, para comprender la estructura interna de los seres vivos, la forma, disposición y relaciones de sus órganos, tejidos y sistemas, etc.

### 3.1.2. Exploración de ideas previas. Historia y mitos

(Exploración de ideas previas). Nuestro taller se llama “Mi cuerpo eléctrico”....

1. ¿Por qué creéis que se llama así?
2. ¿Qué pensáis que vamos a hacer en esta hora?
3. ¿Creéis que nuestro cuerpo es eléctrico?

(Dejamos que opinen)

(EXPERIENCIA 1: Electric stick). Nuestro cuerpo es capaz de conducir una corriente eléctrica. Vamos a hacer esta pequeña demostración. Se trata de un dispositivo con el que podemos comprobar como nuestro cuerpo conduce la corriente eléctrica. Nos cogemos de la mano y cerramos el circuito, cuando esto ocurre el stick se ilumina y produce sonido. Cuando alguno de nosotros se suelta, el circuito se abre y el stick deja de estar iluminado.

Nuestro cuerpo conduce la corriente eléctrica porque tenemos disueltas sales minerales en el agua, que forma el 75 % de nuestro cuerpo. En este caso, el dispositivo tiene dentro una pila que proporciona energía para que se genere esa corriente eléctrica. En nuestro cuerpo, las “pilas”, que aportan la energía necesaria para que se produzca la corriente eléctrica, están en nuestras células.


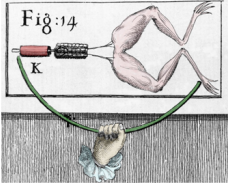

¿Y desde cuándo se conoce que nuestro cuerpo es eléctrico?

(EXPERIENCIA 2: Máquina de Wimshurst. Movemos la manivela del generador, y mientras van saltando chispas continuamos el discurso...). Que la materia tiene cargas eléctricas positivas y negativas era conocido desde hace más de 300 años.



## Historia

- Luigi Galvani (1737-1798)

**Diapositiva 2: El experimento de Galvani.**

(Experimento de Luigi Galvani con ranas). Que nuestro cuerpo es capaz de generar corrientes eléctricas en su interior, se sabe desde hace más de 200 años. Luigi Galvani comprobó que, en un día de tormenta, si acercaba un bisturí a las patas de una rana diseccionada, las patas se movían con cada relámpago. Parecía como si la electricidad de la tormenta hiciera que las patas cobraran vida.

(El mito de Frankenstein y la película Frankenweenie). Este experimento hizo creer a muchas personas que la electricidad era la chispa de la vida, y que, aplicando una descarga eléctrica sobre un cadáver, podría hacer que volviera a la vida. En esta idea, se basa la historia de Víctor, una película en la que un niño, en una noche de tormenta y aprovechando la energía eléctrica de los rayos, devuelve a la vida a su perro Sparky, que había sido atropellado unos días antes.

## Frankenstein, el moderno Prometeo (1818)



**Diapositiva 3: El mito de Frankenstein.**

Si veis la película comprobaréis que, aunque las intenciones eran buenas, el resultado no es muy positivo. Esta película está basada en la novela Frankenstein, una novela de misterio, terror, y de ciencia ficción. Que se sepa, no se puede volver a la vida ni con electricidad, ni con nada.

### 3.1.3. Bioelectricidad

(Bioelectricidad). Pero sí que hay una cosa cierta, nuestro cuerpo produce corrientes eléctricas, y ese fenómeno se conoce como BIOELECTRICIDAD.

#### La electricidad en el cuerpo

- 1. Los sentidos:**
  - vista, tacto, oído, olfato, gusto, propiocepción
- 2. Los músculos**
- 3. Los nervios:**
  - Transmisión de estímulos sensoriales
  - Transmisión de estímulos motores
- 4. El cerebro:**
  - Procesado de estímulos sensoriales
  - Generación de estímulos motores

**Diapositiva 4: Bioelectricidad: electricidad en nuestro cuerpo.**

¿Dónde producimos electricidad en nuestro cuerpo? La electricidad se produce en nuestras células. Y la actividad eléctrica se genera en:

1. Los sentidos de la vista, tacto, oído, olfato, gusto, propiocepción. Los órganos de los sentidos transforman los estímulos en señales eléctricas que viajan hasta el cerebro donde se procesan e interpretan.
2. En los músculos. La actividad eléctrica hace que se contraigan y produzcan el movimiento.
3. En el sistema nervioso. En los nervios y por los nervios, se transmiten los impulsos eléctricos, que transportan información valiosísima para que podamos vivir, desde los sentidos al cerebro y del cerebro a los órganos motores.
4. En el cerebro. Hasta aquí llegan los estímulos eléctricos de los sentidos y se procesan. También se generan otros estímulos eléctricos que viajan hasta los músculos.

### 3.1.4. Medida de la bioelectricidad

(Tecnología para medir la bioelectricidad). ¿Podemos “ver” las señales eléctricas que produce nuestro cuerpo? La respuesta es “sí”: podemos registrar las señales eléctricas, medirlas, analizarlas. Para ello necesitamos tecnología apropiada. En la Universidad de Granada se ha desarrollado una tecnología eficiente y sencilla para registrar bioelectricidad. ¡Tan sencilla, que todos los componentes se han comprado en una tienda de música!



**Diapositiva 5: El sistema de registro.**

El sistema de registro, que vamos a utilizar en este taller, incluye los siguientes elementos:

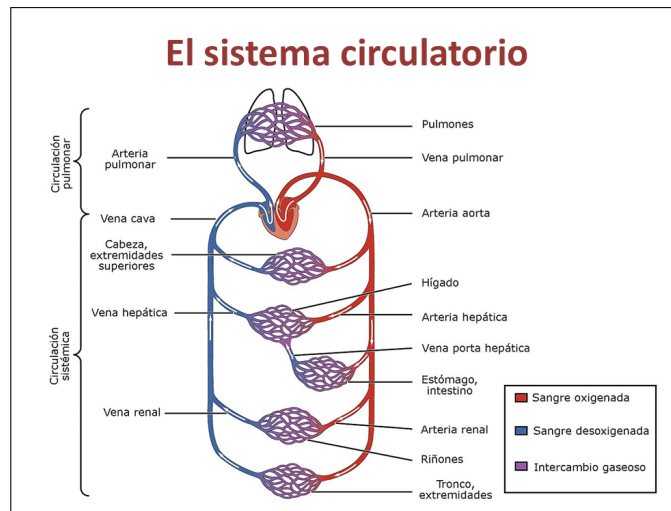
1. Electrodo, que recoge electricidad de nuestro cuerpo.
2. Preamplificador de micrófono, que amplifica la señal eléctrica.
3. Interfaz de audio, que captura la señal y la manda al ordenador.
4. Ordenador, para procesar la señal, representarla, verla, guardarla.
5. Auriculares, altavoz, etc., para oír la señal.
6. Batería, aislamiento, etc., para quitar ruido y garantizar seguridad.

## 3.2. Bloque 2: registro de bipotenciales cardiacos

Para estudiar la bioelectricidad, vamos a comenzar con una actividad eléctrica relativamente fácil de medir. Vamos a registrar la actividad eléctrica del corazón. Pero primero vamos a repasar qué hace el corazón y de dónde viene esa actividad eléctrica.

### 3.2.1. Anatomía y fisiología del corazón. Inervación

(El sistema circulatorio). El sistema circulatorio es el encargado de llevar a todas las células del cuerpo nutrientes y oxígeno, y retirar dióxido de carbono y otros productos de deshecho.

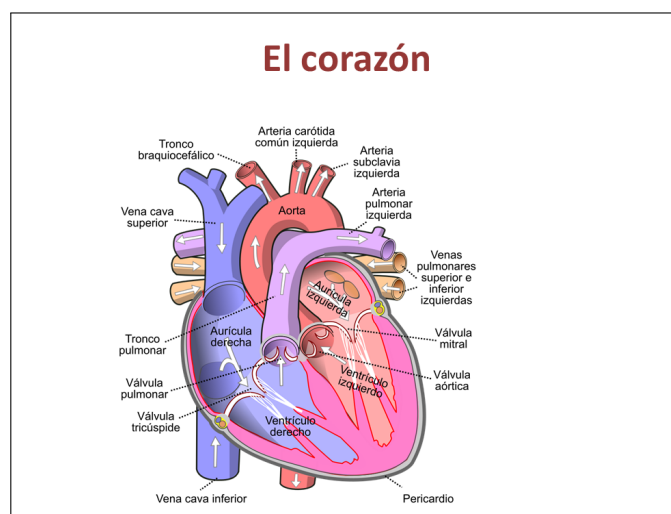


**Diapositiva 6: El sistema circulatorio.**

Todos hemos notado nuestro corazón alguna vez. El corazón forma parte del sistema circulatorio. Básicamente es una bomba que se encarga de impulsar la sangre por el sistema circulatorio. Podemos notar el bombeo de la sangre poniendo la mano sobre el corazón cuando hacemos ejercicio intenso, o poniendo los dedos sobre la arteria radial, o sobre la arteria carótida.

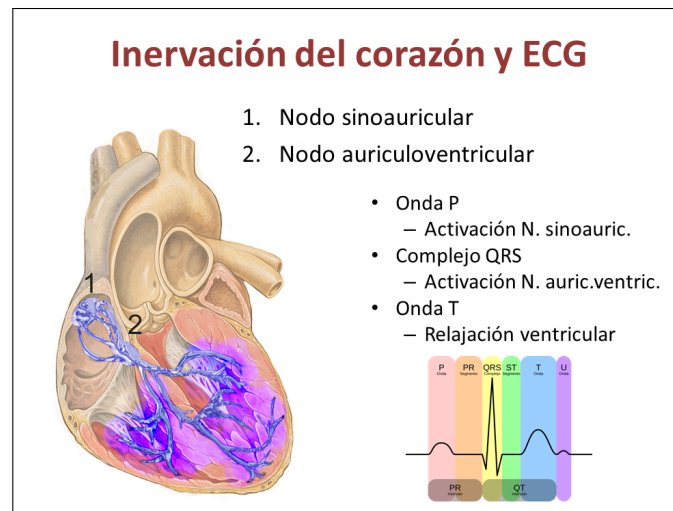
(EXPERIENCIA 3: Notamos el pulso en la arteria radial o la carótida). Poned los dedos índice y corazón de una mano sobre la arteria radial, en la muñeca de la otra mano, en la línea que hay entre los dedos índice y corazón, junto a los tendones. Notad el pulso al tacto. También podemos notarlo colocando los dedos en el cuello, justo junto a la laringe.

(Explicamos anatomía del corazón apoyándonos en la diapositiva 7 o bien en la ficha correspondiente). Para bombear la sangre, el corazón realiza un ciclo continuo de contracción y relajación de las cuatro cámaras. La sangre entra a las aurículas por las venas. Las aurículas se contraen, pasando la sangre a los ventrículos. Después los ventrículos se contraen, y la sangre es impulsada por las arterias.



**Diapositiva 7: Las cavidades del corazón.**

(EXPERIENCIA 4: Mostramos un corazón plastinado). Aquí podemos ver un corazón plastinado, de un mamífero, en este caso de un cerdo. Donde podemos ver las dos aurículas y los dos ventrículos.



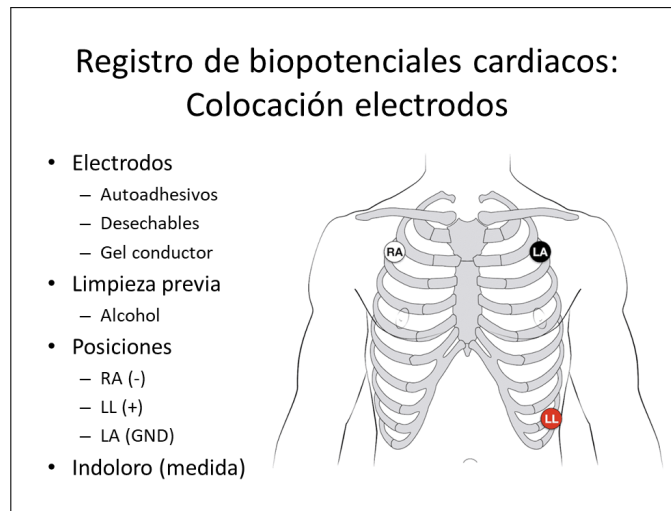
**Diapositiva 8: Actividad eléctrica del corazón.**

(Inervación del corazón y actividad eléctrica). El ciclo sincronizado de contracción y relajación de las aurículas y los ventrículos está controlado por un conjunto de neuronas. Hay dos “nodos” o agrupaciones de núcleos de neuronas. El primero activa la contracción de las aurículas. El segundo activa la contracción de los ventrículos. Esto genera una actividad eléctrica muy fácil de medir.

El electrocardiograma registra esta actividad eléctrica. En cada pulso cardiaco, la actividad eléctrica se manifiesta con tres ondas: la onda “P” (pequeña), asociada a la contracción de las aurículas; el complejo “QRS” asociado a la contracción de los ventrículos, que es una onda de gran amplitud; y la onda “T”, asociada a la relajación ventricular (de amplitud intermedia).

### **3.2.2. Registro e interpretación de biopotenciales cardiacos**

(Anunciamos el experimento). En este taller vamos a medir los biopotenciales cardiacos, la actividad eléctrica del corazón asociada a la contracción y relajación de las aurículas y los ventrículos.



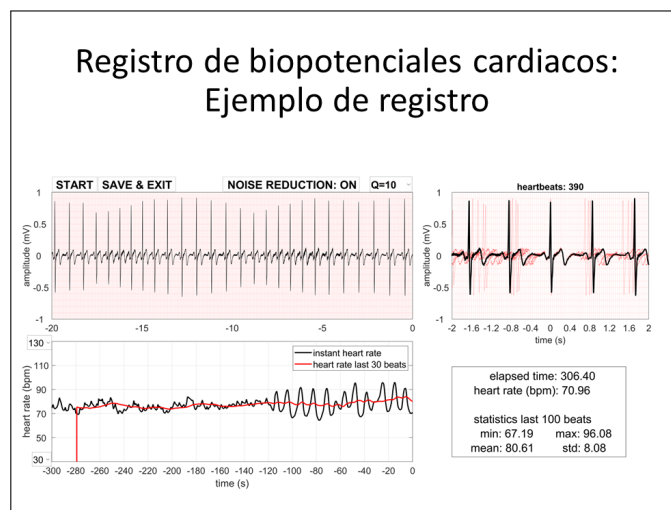
**Diapositiva 9: Medida de biopotenciales cardiacos. Colocación de electrodos.**

(Colocación de los electrodos). Para medir los biopotenciales cardiacos vamos a poner tres electrodos sobre la piel, dos de ellos justo bajo las clavículas, y el tercero sobre la última costilla flotante en el costado izquierdo.

En función de la disponibilidad de tiempo, los electrodos los puede tener previamente colocados un monitor (opción más rápida), o bien el monitor se los puede colocar a un voluntario (opción intermedia) o bien el monitor puede dirigir la operación de colocación de los electrodos por parte de los asistentes al taller (para que haya una participación más activa).

Vamos a colocar tres electrodos autoadhesivos. Para ello limpiamos la piel con alcohol y una gasa, para retirar restos de células muertas o grasa. Quitamos el protector a los electrodos. Los pegamos, presionando sobre la periferia, para fijar el adhesivo. Finalmente presionamos en el centro para que el gel conductor haga buen contacto.

A continuación conectamos los electrodos. El positivo (rojo) en el costado izquierdo. El negativo (blanco) en la clavícula derecha. El de tierra (cobre) en la clavícula izquierda. Finalmente conectamos el cable con el preamplificador en la entrada 1 de la interfaz de audio.



**Diapositiva 10: Registro de biopotenciales cardiacos.**

(Describimos lo que se verá). Cuando conectemos el sistema de registro, vamos a ver algo parecido a lo mostrado en esta diapositiva. Vamos a ver el biopotencial registrado por los electrodos en tiempo real, en la primera figura. En el eje horizontal el tiempo, en segundos. En el eje vertical, la amplitud del biopotencial en mili-voltios. Ese biopotencial va a analizarse para identificar cada pulso cardiaco, y vamos a representar en la segunda figura los últimos pulsos cardiacos detectados, donde podremos ver las ondas P, QRS, y T. Midiendo el intervalo de tiempo entre pulsos cardiacos consecutivos, vamos a determinar el ritmo cardiaco, es decir, cuántas pulsaciones por minuto genera el corazón. En la tercera figura se representará el ritmo cardiaco (en pulsaciones por minuto) en función del tiempo.

(EXPERIENCIA 5: Registro de biopotenciales cardiacos. Iniciamos el script de ECG en MATLAB; verificamos que los electrodos están conectados a través del preamplificador; activamos los 48 V phantom de alimentación del preamplificador. Pulsamos el botón “START” en la aplicación. Observamos el biopotencial registrado en tiempo real en la pantalla). Bien, pues vamos a comenzar a medir el biopotencial con nuestro voluntario... Comenzamos.... y podemos ver el biopotencial cardiaco asociado a cada latido del corazón, cómo va apareciendo en tiempo real cada latido de su corazón.

Los electrodos recogen toda la actividad eléctrica del cuerpo, sobre todo de los órganos que hay cerca de los electrodos. Por ejemplo, la actividad muscular. Si movemos el brazo derecho, veremos un biopotencial muscular, que se suma al biopotencial cardiaco. Esto es debido a la proximidad de la musculatura pectoral al electrodo de la clavícula derecha. O si hacemos una respiración abdominal (inflando la barriga al inspirar, una respiración de diafragma), también aparece actividad muscular que se suma al biopotencial cardiaco. Si la señal que nos interesa es la señal cardiaca, todas las señales que no nos interesan (o que nos molestan) son “ruido”.

Además del ruido muscular (interno), también tenemos en ruido de la red eléctrica. En esta señal no se aprecia porque hemos aplicado un algoritmo para reducirlo. Si desactivamos el algoritmo, entonces podemos ver el ruido de la red eléctrica.

(EXPERIENCIA 6: Oímos los biopotenciales cardiacos. Subimos el volumen del amplificador de audio para oír la señal registrada). Los biopotenciales cardiacos, además de verlos, podemos oírlos. Para ello, lo que hacemos es enviar la señal eléctrica hacia el amplificador de audio, mediante un transmisor inalámbrico. Subimos volumen y podemos oír el corazón de nuestro voluntario. Muy importante: no estamos oyendo el “sonido del corazón” (eso lo oiríamos con un fonendo), sino el sonido de la actividad eléctrica del corazón (el biopotencial cardiaco convertido en sonido).

De nuevo, si está quieto, vemos una señal limpia, y oímos bien cada latido. Si mueve el brazo derecho, o si hace una respiración abdominal, veremos y oiremos los potenciales miogénicos (asociados a la actividad muscular). Y si desactivamos el algoritmo de reducción de ruido de la red eléctrica, vamos a oír el zumbido de los 50 Hz de la red.

(EXPERIENCIA 7: Cambios en el ritmo cardiaco. Bajamos volumen al amplificador de audio). Ahora vamos a hacer otro experimento. Vamos a pedir a nuestro voluntario que se siente y se relaje, que no mueva ni un músculo, que respire profundamente, para ver cómo baja su ritmo cardiaco. Vemos como va bajando... Dejamos unos segundos. Poco a poco va bajando.

Ahora vamos a pedir que haga sentadillas. La idea es que haga ejercicio, intenso, de piernas,



pero moviendo lo menos posible el tronco o los brazos, para que no haya mucho ruido. Vemos como sube rápidamente el ritmo cardiaco. Su cuerpo está haciendo ejercicio, y su sistema nervioso central ordena al corazón que aumente el ritmo cardiaco, para suministrar más oxígeno y nutrientes a las piernas. Aumenta el número de pulsaciones por minuto.

Y ahora vamos a pedir que se siente, y que se relaje, que descanse, que intente no mover ni un músculo, que respire profundamente, como al principio. Vemos cómo baja el ritmo cardiaco. Dependiendo de los hábitos deportivos, el ritmo sube o baja más o menos rápido. Que al final del esfuerzo baje rápidamente es signo de buena salud cardiovascular. Los hábitos saludables contribuyen a esa salud cardiovascular.

(EXPERIENCIA 8: Fluctuación del ritmo cardiaco con la respiración. Esta experiencia podríamos condicionarla a la disponibilidad de tiempo y a que en el voluntario se observe claramente esa fluctuación; vamos a suponer que es el caso, como en el ejemplo de la diapositiva). Si os fijáis en el ritmo cardiaco, observamos que ha disminuido al cesar la actividad, pero no baja y ya está.... baja en promedio, pero con oscilaciones importantes. Cuando el voluntario inspira, aumenta el ritmo cardiaco, y cuando expira, disminuye. Esta oscilación indica que el voluntario está relajado.

El ritmo cardiaco está controlado por el sistema nervioso simpático y por el sistema nervioso parasimpático. El simpático predomina en situaciones de estrés, de reto, de miedo, de huida. El parasimpático predomina en situaciones de relajación, recuperación. Cuando predomina el simpático (estrés), el pulso es alto o bajo, según el esfuerzo realizado, pero sin oscilaciones. Cuando predomina el parasimpático (relajación), el pulso es alto o bajo, según el esfuerzo, pero con grandes oscilaciones. A través del pulso cardiaco, como veis, podemos monitorizar también el nivel de estrés.

Fin de los experimentos con registro de biopotenciales cardiacos. Apagamos 48 V phantom. Despegamos electrodos. Limpiamos la piel para retirar el gel conductor o restos de adhesivo. Desconectamos los electrodos del cable. Volvemos a la presentación.

### **3.2.3. Relación ciencia/ingeniería/tecnología para la salud. ECG en clínica. Marcapasos**

(Uso de biopotenciales cardiacos en clínica). Hemos visto que es posible medir, con la tecnología adecuada, los biopotenciales cardiacos. En los hospitales, se mide, con una tecnología parecida, el electrocardiograma. A partir del análisis de la señal del electrocardiograma, se puede estudiar el corazón y detectar distintos problemas o enfermedades del corazón.





**Diapositiva 11: El marcapasos.**

(Descripción del marcapasos). El corazón genera actividad eléctrica, que podemos medir. A veces el corazón no genera correctamente esa actividad eléctrica. En estos casos, la tecnología permite introducir actividad eléctrica en el corazón mediante un sistema electrónico: el marcapasos. Este equipo genera pulsos eléctricos que activan el corazón a través de electrodos. El marcapasos sincroniza la actividad del corazón, permitiendo su correcto funcionamiento en pacientes con enfermedades cardíacas graves.

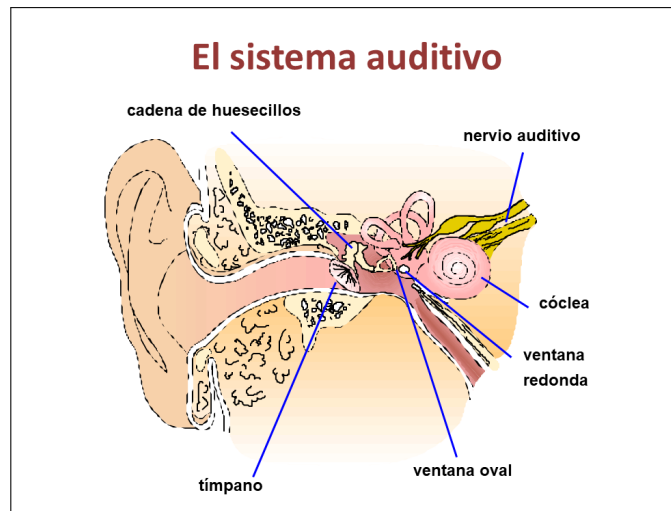
(EXPERIENCIA 9: Observamos un marcapasos. Para esta experiencia es necesario disponer de una unidad, o al menos, de un modelo/maqueta de demostración de marcapasos). Aquí podemos ver un marcapasos. Es un sistema electrónico metido en una carcasa metálica, con una batería interna. Del sistema salen electrodos que se insertan, a través de una vena, en el interior del corazón. Estos electrodos proporcionan estímulos eléctricos que contribuyen a sincronizar la actividad del corazón.

### **3.3. Bloque 3: registro de potenciales evocados auditivos**

(Introducción). Ya hemos visto como nuestro equipo de medida puede registrar la actividad eléctrica del corazón. Hemos visto como esa señal eléctrica coordina todas las células que forman el corazón para hacer que la sangre fluya de forma eficiente por todo el cuerpo.

Ahora vamos a ir más allá. Vamos a estudiar las señales eléctricas del sistema auditivo.

Empezaremos viendo qué es el sonido. Veremos cómo capta el sonido nuestro sistema auditivo, cómo lo convierte en una señal eléctrica, cómo se transmite desde el oído hasta el cerebro y cómo en el cerebro interpretamos ese estímulo auditivo. Y al igual que hemos hecho con el corazón, vamos a medir esa señal eléctrica con nuestro equipo de medida.



**Diapositiva 12: El sistema auditivo.**

### 3.3.1. ¿Qué es el sonido?

(EXPERIENCIA 10: Muelle slinky. Visualización de ondas longitudinales). El sonido es una onda longitudinal que se produce por una vibración y se propaga por el aire (o por un líquido o sólido, pero siempre un medio material). Transporta energía sin transporte de materia. En el sonido, la perturbación se propaga como en este muelle. Hay transporte de energía (y de información) sin transporte de materia.

(EXPERIENCIA 11: Doble tambor. El sonido transporta energía). Vamos a mostrar que el sonido es una onda, y que transporta energía, con este experimento con el doble tambor. Al golpear el primer parche, generamos un sonido. El sonido (la perturbación de presión) se propaga por el aire. Al llegar el sonido al segundo parche, lo hace vibrar, le transmite energía, y esa vibración hace que se mueva la bola que apoya sobre el segundo parche.

### 3.3.2. Anatomía y fisiología del sistema auditivo

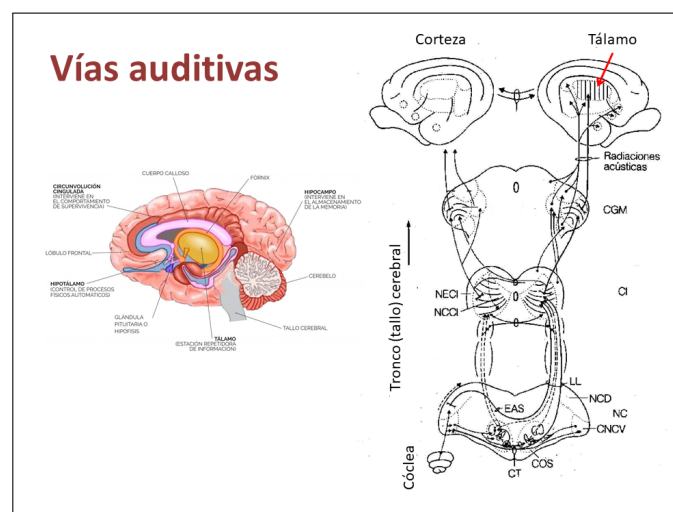
(Descripción del sistema auditivo) El sistema auditivo tiene como finalidad extraer energía del sonido y transportar información hasta el cerebro, y así permitirnos usar esa información acústica, para protegernos de peligros, para tener una idea auditiva de nuestro entorno o para comunicarnos.

Aquí tenemos un modelo de sistema auditivo. El pabellón auditivo (la oreja) recoge el sonido, y el conducto auditivo externo lo transmite hacia el tímpano. El tímpano es una membrana, que al igual que el parche del segundo tambor, vibra al recibir sonido. Sobre el tímpano tenemos la cadena de huesecillos, martillo, yunque y estribo, que transmiten la vibración hasta la cóclea o caracol.

En la cóclea o caracol se produce una etapa muy importante de la audición: la “transducción auditiva” que consiste en la transformación de la vibración mecánica en impulsos nerviosos (es decir, actividad eléctrica) en el nervio auditivo.

(EXPERIENCIA 12: Micrófono. Comparamos la transducción auditiva en la cóclea con la función de un micrófono). El comportamiento de la cóclea es similar al de un micrófono. El micrófono tiene una membrana acoplada a una bobina y un imán. Al recibir sonido, la membrana vibra, y esto hace que la bobina y el imán generen una corriente eléctrica débil: la vibración mecánica se ha transformado en una señal eléctrica, que podemos transportar con un cable, amplificar, analizar, registrar, etc. La membrana sería equivalente al tímpano. La bobina-imán, que hace la transducción, tendría su equivalente en la cóclea. El cable tiene su equivalente en el nervio auditivo, y el procesamiento, que podríamos hacer con un sistema de registro o un ordenador, tiene su equivalente en el cerebro.

(EXPERIENCIA 13: Modelo de cóclea. Describimos la transducción auditiva con el modelo de cóclea rectificadora). La transducción auditiva se lleva a cabo en el interior de la cóclea, por las células ciliadas, células que tienen cilios, es decir, micro-pelillos. En el interior de la cóclea hay fluido. La vibración del tímpano, transmitida por los huesecillos, se convierte en una vibración del fluido intracoclear. Al vibrar, hay un movimiento de los pelillos de las células ciliadas, y esto hace que las células generen potenciales de acción (pulsos eléctricos) que activan las terminaciones del nervio auditivo. El nervio auditivo transporta el mensaje acústico, representado como una actividad eléctrica en cerca de 15.000 fibras nerviosas.



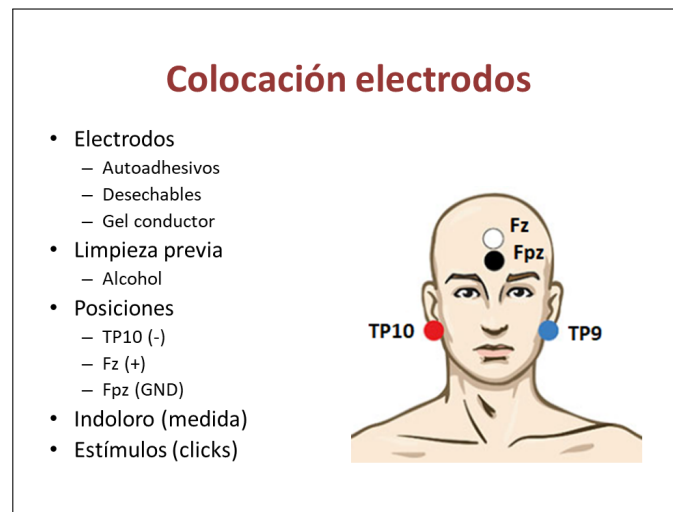
**Diapositiva 13: Las vías auditivas.**

(Las vías auditivas) Pero el nervio auditivo no se limita a transportar la información de sonido. Desde la cóclea hasta la corteza cerebral tenemos diferentes grupos de neuronas, que procesan el sonido a distintos niveles: generan reflejos (para proteger el sistema auditivo) generan alertas (ante un sonido intenso procedente de un lado, gracias a la audición binaural, advirtiéndolo de un posible peligro), realzan o inhiben las sensaciones auditivas correspondientes a las distintas frecuencias (para mejorar la inteligibilidad en ruido) etc. Las vías auditivas incluyen la cóclea, el nervio auditivo, el tronco cerebral, el tálamo y la corteza cerebral (áreas auditivas primarias y áreas secundarias, incluyendo memoria auditiva, centros de lenguaje, etc.).

En este sentido, la percepción auditiva va más allá de la simple detección de sonidos. Involucra toda la vía auditiva, desde la cóclea hasta la corteza cerebral, requiere la maduración neuronal de distintas estructuras, y se ve afectada por el entrenamiento auditivo, el aprendizaje y memorización de sonidos, la práctica auditiva, etc.

### 3.3.3. Registro de potenciales evocados auditivos (1): clicks

(Anunciamos el experimento). En este taller vamos a medir la actividad eléctrica de las vías auditivas, es decir, la actividad bioeléctrica asociada al proceso de audición. Vamos a medir lo que se conoce como “potenciales evocados auditivos” (usamos las siglas en inglés AEP de “auditory evoked potentials”). “Potenciales”, porque medimos actividad eléctrica; “evocados” porque es una actividad eléctrica desencadenada por estímulos que vamos a presentar al voluntario o voluntaria; y “auditivos” porque el estímulo presentado va a ser de tipo auditivo (y se va a transmitir a través de las vías auditivas).



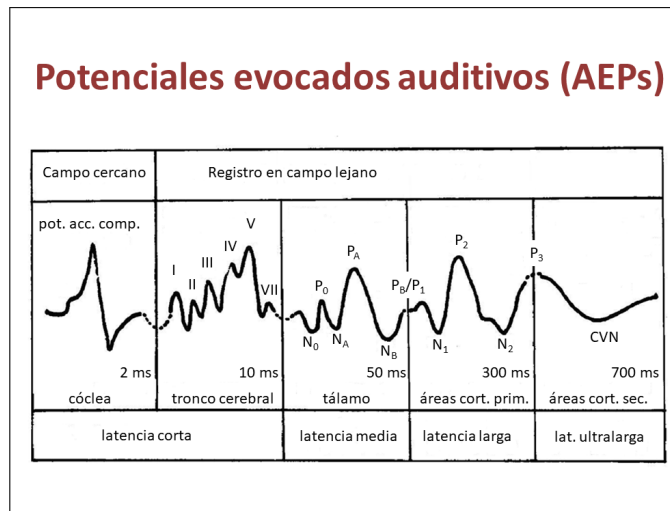
**Diapositiva 14: Colocación de los electrodos para registro de potenciales evocados auditivos.**

(Colocación de los electrodos). Para medir los potenciales evocados auditivos vamos a colocar tres electrodos sobre la piel, uno en la frente, justo en el nacimiento del pelo, otro en la mastoides derecha (sobre el hueso que hay detrás de la oreja), y el tercero en la frente media, un poco por encima del entrecejo.

Procedemos a la colocación de los electrodos a un voluntario.

Igual que con los potenciales cardiacos, usamos tres electrodos autoadhesivos. Limpiamos la piel con una gasa y alcohol, pegamos los electrodos en cada posición, presionando en la periferia, y una vez pegados, presionamos en el centro para mejorar el contacto del gel conductor con la piel.

Al igual que con los potenciales cardiacos, conectamos los electrodos. El positivo (rojo) en Fz, es decir, en la frente-alta; la referencia (blanco) en la mastoides derecha; y la tierra (cobre), en la frente-entrecejo. Y finalmente conectamos el cable con el preamplificador en la entrada 1 de la interfaz de audio.

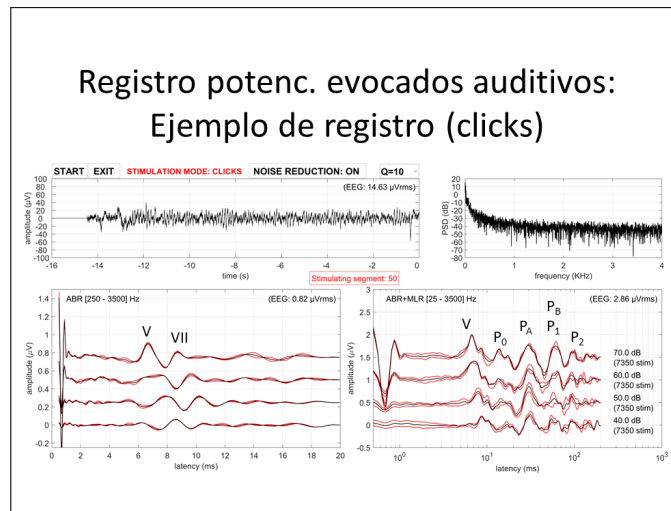


**Diapositiva 15: Esquema de ondas en potenciales evocados auditivos.**

(Esquema de las ondas que podemos ver). ¿Qué esperamos ver en estos biopotenciales? Aquí tenemos un esquema de los potenciales evocados auditivos que se observan en respuesta a un click (a un estímulo auditivo muy breve). En el eje vertical se representa la amplitud. En el eje horizontal se representa la latencia, es decir el tiempo que transcurre desde la presentación del estímulo hasta la aparición de cada onda. Con los electrodos puestos en la cabeza, vamos a observar el “registro de campo lejano”.

En los 10 primeros milisegundos tras la presentación del estímulo van a aparecer los potenciales del tronco, que están asociados a la activación de distintos grupos de neuronas del tronco cerebral auditivo. Tenemos la onda I, la II, la III, el grupo IV-V y la onda VII. Van apareciendo las ondas a medida que el estímulo nervioso se va propagando por las vías auditivas y se van activando las distintas estaciones.

Entre los milisegundos 10 y 50, el estímulo nervioso llega al tálamo, y se generan los “potenciales de latencia media”, la P<sub>0</sub>, la P<sub>A</sub> y la P<sub>B</sub>. Entre los milisegundos 50 y 200, el estímulo llega a la corteza cerebral (áreas corticales primarias) y se generan las ondas P<sub>1</sub> (que es la misma que la P<sub>B</sub>), y la P<sub>2</sub>. Dependiendo de la atención que prestemos al estímulo, de nuestra detección consciente y del esfuerzo auditivo, se pueden activar grupos de neuronas de las áreas auditivas secundarias y otras áreas del cerebro, dando lugar a potenciales de latencia ultra larga, como la P<sub>3</sub> (o P<sub>300</sub>) o el contingente de variación negativa. Es decir, cuanto más temprana es la latencia, más periférica es la actividad neuronal, más cerca de la cóclea, y más relacionada está con la percepción no consciente. Cuanto más tardía es la latencia, más central es la actividad neuronal, más cerca del cerebro, y más relacionada con la percepción consciente.



**Diapositiva 16: Ejemplo de registro de AEPs usando clicks.**

(Describimos lo que se verá). Cuando conectemos el sistema de registro, ¿qué vamos a ver? Pues no vamos a ver nada, porque es muy difícil ver los potenciales evocados auditivos.... Los biopotenciales cardiacos tienen una amplitud de alrededor de un milivoltio. Eso es poco (la milésima parte del voltaje de una pila AAA), pero suficiente como para verlo en tiempo real. Pero los potenciales evocados auditivos tienen una amplitud de alrededor de un microvoltio (¡la millonésima parte del voltaje de una pila AAA!). La amplitud es tan chica que no se ve nada, porque el ruido es mucho mayor que la señal.

Para poder ver los potenciales evocados vamos a presentar muchos estímulos, decenas, centenares, miles.... y vamos a promediar las respuestas. Las respuestas son siempre las mismas. El ruido cambia en las respuestas. Al promediar, la respuesta permanece, pero el ruido, al promediarlo, se va cancelando. De este modo, promediando muchas respuestas, la respuesta promedio cada vez se ve con menos ruido.

Por tanto, ¿vamos a ver los potenciales evocados auditivos?: los vamos a ver, pero con paciencia para promediar muchos estímulos, y con cuidado para generar el menor ruido posible. Si se genera poco ruido, promediando un par de minutos, veremos unos potenciales aceptables. Si hay mucho ruido, tendremos que promediar (con paciencia) 5 o 10 minutos, o veremos unos potenciales menos claros.

En esta diapositiva tenemos la pantalla que vamos a ver en el experimento. En la primera gráfica veremos el biopotencial bruto registrado por los electrodos. En este biopotencial no se va a ver la respuesta evocada. Sólo vamos a ver ruido, pero nos interesa ver ese ruido, para entender qué lo genera y reducirlo si fuera posible. También represento el espectro del biopotencial, la energía que hay para cada frecuencia, que ayuda a saber qué tipo de ruido hay. Y en las gráficas de abajo vamos a representar los potenciales evocados. Cada gráfica es para un nivel de estimulación, 70 dB, 60 dB, 50 dB y 40 dB, que son niveles que no molestan. En cada gráfica tenemos tres líneas, una negra (el promedio) y dos rojas (el promedio con una mitad y el promedio con otra mitad). Si las líneas rojas están juntas, indica que hay poco ruido y los resultados son fiables. Si están separadas, indica que hay mucho ruido y que debemos seguir midiendo (o bien solucionar un problema de ruido).

Las gráficas representan los biopotenciales, amplitud, en función de la latencia en mili-



segundos. La primera gráfica representa los primeros 20 ms de latencia (actividad periférica, potenciales del tronco cerebral). La segunda representa los potenciales hasta 200 ms (incluyendo los potenciales del tronco, los de latencia media y los primeros corticales). Podemos ver el artefacto de estimulación (es decir, el ruido que introduce el propio estímulo) antes del primer milisegundo. En este voluntario, se ven claramente las ondas V y VII en los potenciales de tronco, las ondas P0, PA y PB de los potenciales de latencia media, y las ondas P1 y P2 de los potenciales corticales.

Estos potenciales me indican objetivamente: (1) que estoy estimulando (porque hay artefacto de estimulación); (2) que hay transducción auditiva y que el nervio auditivo y vías auditivas funcionan correctamente, porque hay potenciales de tronco y latencia media; (3) que se dan condiciones para una audición consciente, porque hay actividad en las áreas corticales primarias.

(EXPERIENCIA 14: Registro de evocados auditivos usando clicks. Iniciamos el script de AEP-clicks en MATLAB; verificamos que los electrodos están conectados a través del preamplificador; activamos los 48 V phantom de alimentación del preamplificador. Pulsamos el botón “START” en la aplicación. Observamos el biopotencial registrado en tiempo real en la pantalla). Bien, pues vamos a comenzar a medir potenciales evocados con nuestro voluntario... Comenzamos. Vemos un biopotencial muy ruidoso. Podemos ver, por ejemplo, que cada vez que parpadea, aparece un potencial asociado a la actividad muscular. Si parpadea 3 veces, vemos el ruido eléctrico generado por la correspondiente actividad muscular y podemos ver los tres parpadeos en el electroencefalograma. Igualmente, si aprieta la mandíbula, o si traga saliva veremos también la actividad muscular. Para poder ver los potenciales claramente, es conveniente que nuestro voluntario no parpadee, no trague saliva, no apriete la mandíbula, esté relajado. También, por supuesto, hemos quitado el ruido de la red eléctrica.

El nivel de ruido lo medimos en micro-voltios RMS (una especie de ruido promedio). Si está alrededor de 5, está muy bien. Por debajo de 10 está bastante bien. Por encima de 15 o 20, necesitaremos promediar muchas respuestas para obtener unas buenas gráficas. Lo ideal es que nuestro voluntario esté relajado, casi al borde del sueño (o directamente dormido), en postura cómoda, ojos cerrados labios cerrados, pero mandíbula suelta (sin apretar los dientes), hombros, cuello, brazos relajados...

Para registrar potenciales evocados auditivos, vamos a presentar un estímulo auditivo, usando unos auriculares. Vamos a escuchar el estímulo con el altavoz, para entender lo que va a oír nuestro voluntario. Va a escuchar clicks de intensidad variable, primero aumentando, 40 dB, 50, 60, 70, y después disminuyendo, y después aumentando de nuevo, disminuyendo, y así se repetirá durante varios minutos para ir promediando. Cada 15 segundos, vamos a parar, vamos a procesar el biopotencial registrado en ese segmento, y vamos a actualizar los registros en las pantallas. Con los primeros segmentos, como hay pocos promedios, se verá una respuesta muy ruidosa. A medida que vayamos promediando más segmentos, la respuesta se irá viendo más clara.

Qué debe hacer nuestro voluntario si necesita parpadear, o tragar saliva, o moverse un poco... Lo ideal es que lo haga al finalizar un segmento de 15 segundos (aunque si no puede aguantar, no pasa nada, simplemente incrementará el nivel de ruido y necesitaremos promediar más segmentos.

Vamos a poner los auriculares a nuestro voluntario. Comprobamos que es un nivel confortable de estimulación. Si lo considera molesto, podemos reducir el nivel de estimulación.

Una vez explicado, procedemos a la medida. Paramos la adquisición comprobamos que el voluntario está preparado. Pedimos silencio y comenzamos la estimulación y registro.

Es importante que mantengamos el mejor silencio posible, porque queremos los potenciales evocados por los clicks. Si hay otros sonidos, los otros sonidos generan biopotenciales que hacen que los generados por los clicks se observen con más ruido. Si el voluntario está relajado y preparado, empezamos el registro.

Comienza el registro. Normalmente, con unos 10 segmentos, 2.5 minutos, se ven bien definidas las componentes más claras de los potenciales evocados, onda V en adultos, en unos 7 ms a 70 dB. En jóvenes es habitual observar una onda III muy clara, en unos 5 ms. Las componentes de latencia media, PA y PB suelen ser también bastante claras. A veces, en la latencia de la P0 aparece un PAM (post-auricular muscle response), que es actividad refleja indicativa de que el sonido genera alerta. Tiende a disminuir a medida que evoluciona la prueba y el voluntario se relaja. Puede reducirse disminuyendo el nivel de estimulación. Al finalizar el registro (cuando lo consideremos oportuno detenemos la adquisición), lo analizamos.

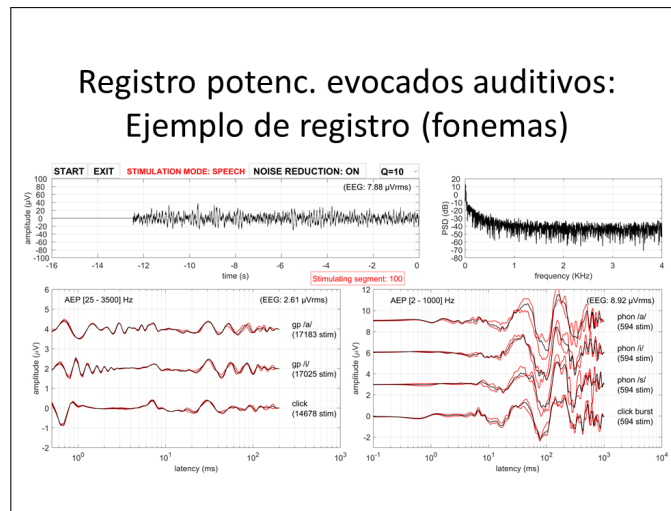
Bien, hemos terminado el registro, puedes abrir los ojos, ya no estamos midiendo. Vamos a ver qué se observa en el registro. Vemos el artefacto de estimulación, correspondiente a los clicks de 70, 60, 50 y 40 dB. En esta gráfica podemos ver muy bien los potenciales de tronco cerebral, que indican que tras los clicks, distintas estaciones del tronco cerebral se activan. La onda III se ve clara, la IV-V, la VII... Una característica de los potenciales del tronco es que cuanto menor es la intensidad de estimulación mayor es la latencia. El nervio auditivo y el tronco cerebral se activan al presentar estímulos, incluso los de 40 dB. Quiero decir, que hay evidencia de percepción de sonidos incluso relativamente débiles. En los potenciales de latencia media podemos ver las ondas P0, PA, PB/P1, también muy claramente. La P2 se empieza a intuir, pero para verla claramente sería necesario promediar más respuestas. Estos potenciales nos indican que el estímulo auditivo está llegando a las áreas corticales auditivas, que está llegando al cerebro, y permite a nuestro voluntario ser consciente de la presencia de los sonidos.

Fin de los experimentos de registro de potenciales evocados auditivos con clicks. Podemos cambiar de voluntario o mantenerlo. Si cambiamos de voluntario apagamos 48 V phantom, depegamos electrodos, limpiamos la piel, desconectamos los electrodos del cable. Pedimos un segundo voluntario para el siguiente experimento y vamos colocando los electrodos.

### **3.3.4. Registro de potenciales evocados auditivos (2): fonemas**

Se va a realizar un segundo experimento de registro de potenciales evocados auditivos, usando como estímulo fonemas sintéticos. El experimento se puede explicar sin la ayuda de la presentación (se incluye un ejemplo de registro para referencia interna).





**Diapositiva 17: Ejemplo de registro de AEPs usando fonemas sintéticos.**

La actividad auditiva cortical (asociada a la audición consciente) es difícil de ver con el experimento anterior, entre otras cosas por el tipo de estímulo. Así que hemos preparado un experimento de registro de potenciales evocados auditivos mucho más divertido.

En este experimento, usaremos, como estímulo, 4 fonemas sintéticos. Dos fonemas sonoros, la vocal /a/ y la vocal /i/, un fonema sordo, la /s/ y una cosa que no es un fonema, sino una especie de pedorreta sintética. Vamos a ir presentando los fonemas de forma aleatoria. Por ejemplo, “aaaa, iiii, aaaa, prrrr, sssss, iiii, prrr, sssss, aaaaa”.

Los fonemas sonoros, como las vocales, se caracterizan por la vibración de las cuerdas vocales. Si ponemos la mano sobre la laringe y pronunciamos una vocal “aaaaa”, podemos notar al tacto la vibración de las cuerdas vocales. Si pronunciamos una fonema sordo, por ejemplo la “s” (“ssssss”), no notaremos la vibración de las cuerdas vocales. También podríamos pronunciar una vocal sorda, como cuando hablamos susurrando.... en ese caso no hay vibración de cuerdas vocales (probamos pronunciar vocales sordas o a hablar susurrando). También podemos pronunciar una consonante “s” sonora, que no tiene valor fonético en el español, aunque sí en otros idiomas, como el alemán o el catalán...

Las vocales y los fonemas sonoros se generan a partir de los pulsos glotales, y para cada pulso glotal tenemos una señal que se repite. Tienen una cierta estructura interna, con eventos rápidos (los pulsos glotales). En los fonemas sordos no tenemos señal que se repite, no tenemos esa estructura interna.

La pedorreta se parece un poco a los fonemas sonoros, porque la hemos generado con clicks. Tiene por tanto una señal (el click) que se repite: la pedorreta es un conjunto de clicks que se repiten.

Bien, pues vamos a estimular auditivamente, presentando estos sonidos (la /a/, la /i/, la /s/ y la pedorreta), y vamos a estimar la respuesta a cada uno de estos fonemas sintéticos. Y además vamos a estimar la respuesta a los eventos rápidos (pulsos glotales o clicks) para aquellos fonemas que tienen estructura interna: la /a/, la /i/ y la pedorreta. Con la /s/ no podemos porque no tiene estructura interna.

Los eventos rápidos (con estímulos breves) nos van a generar actividad periférica muy

marcada, con unos potenciales de tronco y de latencia media más claros. Los eventos lentos (fonemas), que son estímulos de mayor duración y con significado marcado, nos van a generar una actividad cortical más clara, particularmente si el voluntario presta mucha atención al tipo de sonido recibido.

(EXPERIENCIA 15: Registro de evocados auditivos usando fonemas sintéticos. Iniciamos el script de AEP-phonemes en MATLAB; si hemos cambiado de voluntario, verificamos que los electrodos están conectados a través del preamplificador; activamos los 48 V phantom de alimentación del preamplificador. Pulsamos el botón “START” en la aplicación. Observamos el biopotencial registrado en tiempo real en la pantalla). Todo está preparado. Vamos a medir los potenciales evocados con fonemas. De nuevo, tenemos el biopotencial bruto, con su actividad auditiva muy débil, y con ruido de distintos orígenes. Observamos la actividad muscular del parpadeo, apretar la mandíbula, o tragar saliva, y de nuevo vamos a pedir a nuestro voluntario que durante la prueba, permanezca lo más relajado posible.

Vamos a escuchar el estímulo auditivo por el altavoz. Quizá os haga un poco de gracia... Y vamos a pedir al voluntario que haga un gran esfuerzo de concentración. Cuanto más concentrado esté, más clara se verá la actividad cortical. Nos vamos a imaginar un panel con 2 botones. En el lado derecho tenemos el botón de las vocales, en el lado izquierdo el de la “s” o la pedorreta. Quiero que te concentres en el sonido que escuchas, y te imagines (intensamente) que pulsas, con cada sonido, el botón correspondiente, bien el de las vocales, o bien el de la s/pedorreta. Probamos un poco. Pero no hay que pulsar, hay que imaginarse (intensamente) que pulsas.

Bien. Nos ponemos los auriculares. Quiero que el nivel de estimulación sea cómodo. Podemos bajar un poco el volumen si molesta. Una vez ajustado, recordamos, muy relajado, muy concentrado, ojos cerrados, mandíbula floja, sin tragar saliva, sin tensión en los músculos, como si estuviéramos dormidos, pero muy concentrado porque hay que pulsar botones con la imaginación. Hay segmentos de unos 15 segundos, y podemos descansar un poco o movernos etc. entre segmento y segmento. Si estamos preparados, podemos comenzar.

Comienza el registro. De nuevo, con unos 12 o 15 segmentos (3 o 4 minutos), si el nivel de ruido es moderado, poco a poco van apareciendo las ondas, con componentes de tronco y latencia media para los eventos rápidos, pulsos glotales y clicks, y con componentes corticales claras para los eventos lentos, fonemas. Al finalizar el registro (detenemos la adquisición cuando lo consideremos oportuno), procedemos a analizarlo.

Hemos terminado el registro. Puedes abrir los ojos. Ya no estamos midiendo, y vamos a analizar qué se observa en el registro. En esta pantalla tenemos las respuestas evocadas a los eventos rápidos (pulsos glotales de la /a/, pulsos glotales de la /i/, y clicks de la pedorreta). En esta otra pantalla tenemos los potenciales evocados por los fonemas (el fonema /a/, el fonema /i/, el fonema /s/ y el fonema “pedorreta”). De los eventos rápidos tenemos muchos más eventos que con los fonemas, porque cada vocal tiene varios pulsos glotales, y cada pedorreta tiene varios clicks.

En la respuesta a los eventos rápidos, al principio del registro se observa el artefacto de estimulación, una señal similar a la señal con la que se ha estimulado. Como en las vocales hay un patrón de señal que se repite con cada pulso glotal, el artefacto de estimulación es ese patrón de señal. Podemos ver el artefacto para la /a/, para la /i/. En el caso de la pedorreta, el patrón

que se repite es un click breve, y el artefacto es un artefacto mucho más breve.

Podemos ver las respuestas evocadas del tronco cerebral, en particular se ven las ondas III y V, que se identifican en los pulsos glotales de la /a/, de la /i/ y en los clicks de la pedorreta. También se ven componentes de latencia media, la PA y la PB.

En la segunda gráfica, la respuesta a los fonemas, podemos ver una respuesta con componentes de latencia media, y sobre todo con componentes corticales muy marcadas. Las respuestas periféricas son difíciles de observar porque los eventos tienen mucha duración (para observar las respuestas de tronco los estímulos deben ser breves para que haya buena sincronización). Pero se observan unas respuestas corticales muy evidentes, que indican que hay una percepción consciente de los fonemas, y que probablemente esa percepción se haya realizado con un esfuerzo de atención.

Lo interesante de esta respuesta es que podemos analizar la actividad eléctrica de todo el proceso de audición, desde la cóclea, el nervio auditivo, el tronco cerebral, el tálamo, las áreas corticales primarias y las áreas corticales secundarias, es decir de toda la vía auditiva.

Fin de los experimentos de registro de potenciales evocados auditivos con fonemas. Apagamos 48 V phantom, despegamos electrodos, limpiamos la piel, desconectamos los electrodos del cable. Volvemos a la presentación.

### **3.3.5. Relación ciencia/ingeniería/tecnología para la salud. AEPs en clínica. Implante coclear**

(Uso de potenciales evocados auditivos en clínica). Hemos visto que es posible monitorizar la actividad eléctrica asociada a la percepción auditiva haciendo uso de la tecnología adecuada. En la práctica clínica, los potenciales evocados auditivos se utilizan para evaluar la capacidad auditiva de forma objetiva, lo que resulta muy importante en pacientes con dificultades comunicativas (por ejemplo con niños pequeños). Los potenciales evocados auditivos también son útiles para investigar algunos aspectos de la audición (como la percepción binaural, la audición en presencia de ruido o la percepción en el caso de ciertas enfermedades).



**Diapositiva 18: Sistema de implante coclear.**

(Descripción del implante coclear). Hemos demostrado, con los experimentos, que el sistema auditivo genera una actividad eléctrica, y que esa actividad eléctrica, al transmitirse a lo largo de las vías auditivas hasta el cerebro, nos proporcionan la sensación auditiva. El origen de esa actividad eléctrica está en la transducción auditiva, que se produce en la cóclea. ¿Qué ocurre si la cóclea está dañada? Pues ocurre lo mismo que si el micrófono estuviera dañado. No hay transducción auditiva, y aunque el cable esté bien, la señal no llega a su destino. Tendríamos una “sordera neurosensorial”.

En las sorderas de transmisión está dañado el tímpano, o la cadena de huesecillos, o tenemos moco en el oído medio, etc. Se pueden corregir amplificando el sonido (con un audífono). Pero en las sorderas neurosensoriales el beneficio del audífono es limitado, y si la sordera neurosensorial es profunda, la utilidad del audífono es prácticamente nula.

Vimos que con el corazón, cuando hay problemas, existe la posibilidad de estimularlo eléctricamente mediante un marcapasos. En el caso de una sordera neurosensorial, también podemos estimular eléctricamente el nervio auditivo desde dentro de la cóclea, con un dispositivo que se llama implante coclear. Implante, porque es un sistema que se introduce en el organismo. Coclear, porque hay elementos que se insertan dentro de la cóclea.

Un sistema de implante coclear tiene dos elementos: un procesador externo, y una unidad interna implantable. La unidad interna tiene una carcasa que contiene circuitos electrónicos, una bobina para permitir transmisión entre la unidad externa y la unidad interna, un imán para fijar la unidad externa a la unidad interna, una guía de electrodos intracocleares, y un electrodo extracoclear. La unidad externa o procesador tiene una batería, la electrónica del procesador, un micrófono, una bobina para la transmisión con la unidad interna y un imán para fijar la unidad externa a la interna.

El sistema de implante coclear funciona del modo siguiente: el micrófono recoge el sonido. El procesador analiza el sonido y determina con qué intensidad debe estimularse en cada instante de tiempo cada uno de los electrodos. A través de la bobina transmite la parte externa a la parte interna energía (para hacer funcionar la electrónica de la parte interna) y datos (información sobre el nivel de estimulación requerido en cada electrodo en cada instante de tiempo). La parte interna genera los pulsos eléctricos de amplitud apropiada en cada electrodo. De esta

forma, la electricidad generada en las proximidades del nervio auditivo provoca la activación del nervio auditivo y la transmisión del estímulo nervioso a lo largo de las vías auditivas hasta la corteza cerebral, haciendo posible una sensación auditiva con muy buena calidad.

(EXPERIENCIA 16: Modelo de implante coclear. Aquí tenemos una maqueta de implante coclear, a tamaño real. Esta es la parte interna, con la electrónica, la bobina, el imán, el electrodo extracoclear de referencia y la guía con los electrodos intracocleares. Y esta es la parte externa, con el micrófono, la electrónica, las baterías y la bobina. Actualmente los sistemas de implante coclear cuentan con una unidad de control, para facilitar la selección de programas y la conectividad con dispositivos de audio (como teléfonos móviles o sistemas de apoyo a la audición).

En la cirugía de implante coclear, la parte interna se coloca bajo el músculo temporal, en un lado de la cabeza. La guía de electrodos se introduce en el interior de la cóclea, mediante cirugía asistida con microscopio.

Es un tratamiento relativamente reciente (desde el año 2000 es bastante habitual), que proporciona unos resultados muy buenos (la estimulación con implante coclear proporciona a la mayoría de los pacientes una audición con calidad suficiente como para mantener una conversación sin apoyo visual incluso con niveles moderados de ruido).

### 3.4. Bloque 4: Resumen y conclusiones del taller

El taller está llegando a su fin.... vamos a hacer un breve resumen.

¿Qué hemos aprendido?

¿Recordáis la historia inicial, el niño que devolvía su perro a la vida gracias a la electricidad del rayo? ¿Que os parece la historia ahora? ¿Os la creéis?

Hoy hemos explorado la naturaleza eléctrica de nuestro cuerpo. Hemos medido la actividad eléctrica del corazón. También hemos medido la actividad eléctrica asociada a la percepción auditiva.

También os hemos presentado el maravilloso mundo de las señales (y del ruido). La ingeniería de telecomunicaciones estudia, entre otras cosas, cómo registrar señales, cómo procesarlas, analiza el ruido, propone métodos para reducir el efecto del ruido. Con este taller, queremos mostraros cómo es posible aplicar la ingeniería a la ciencia, a la biología y a la medicina para mejorar nuestro conocimiento científico o para mejorar la salud.

Y muy importante: queremos transmitir que vosotros podéis ser ingenieros o ingenieras. Todos sabéis lo que es un físico, un químico, un biólogo, un médico, un matemático, un ingeniero informático. Si lo que os gustan son las señales (y las señales están presentes en todas las medidas) vuestro camino es la ingeniería de telecomunicación.

La ciencia descubre y explora la naturaleza descubriendo cómo funciona. Gracias a ese conocimiento, la ingeniería soluciona problemas y crea tecnología que beneficia a la sociedad.

¿Quieres participar de esta aventura? ¡Tú también puedes ser ingeniero!. ¡Tú también pue-

des ser ingeniera!



Parque de las Ciencias  
ANDALUCÍA - GRANADA

## ¡¡Muchas gracias!!



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

- El maravilloso mundo de las señales (y el ruido)
- Tú puedes ser ingeniero
- Tú puedes ser ingeniera
- Biología/salud – ingeniería
- Tecnología al alcance de los colegios

Proyecto PID2020-119073GB-100  
Financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033

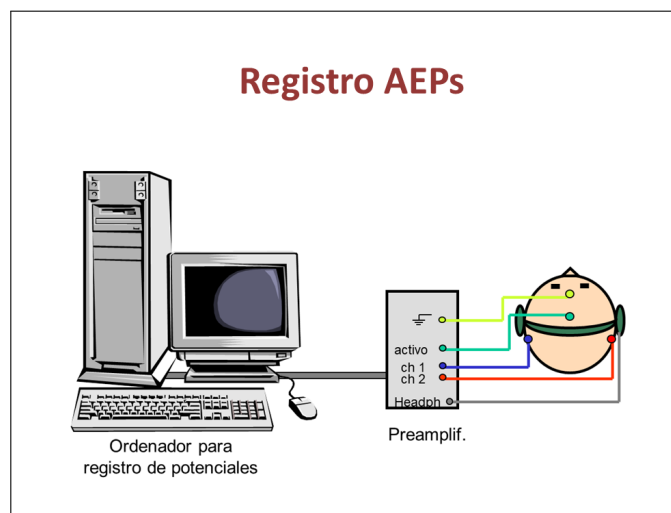


Proyecto P21.00152



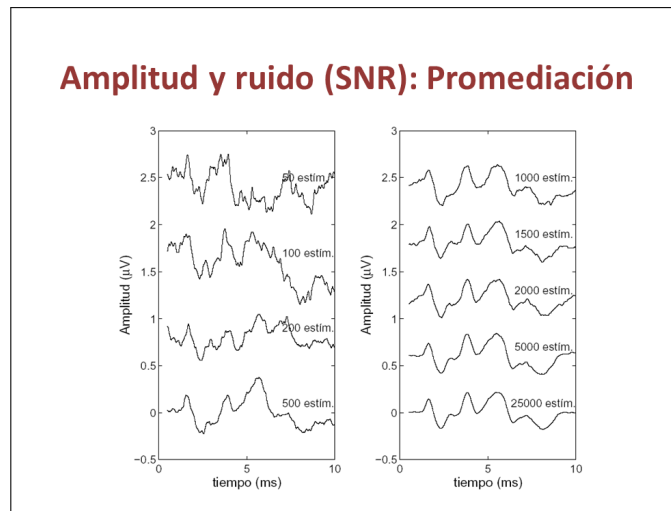
**Diapositiva 19: Ideas fundamentales del taller.**

### 3.5. Diapositivas complementarias



**Diapositiva 20: Esquema de montaje para registro de AEPs.**

Esta diapositiva presenta el esquema básico de un sistema de registro de potenciales evocados auditivos. Necesitamos estimular (con auriculares), recoger la respuesta (con electrodos), amplificarla y registrarla de forma sincronizada con el estímulo. La promediación síncrona se realiza con un ordenador.



**Diapositiva 21: Efecto de la promediación en la calidad de las respuestas evocadas.**

Esta diapositiva describe el efecto del número de respuestas promediadas en la calidad de las respuestas evocadas. Para un nivel de ruido determinado, a medida que aumenta el número de respuestas promediadas, el ruido tiende a cancelarse. En este ejemplo, con 50 o 100 respuestas es imposible determinar las ondas de los potenciales del tronco. Con 200, empiezan a intuirse las ondas. Con 500 la calidad de la respuesta promediada es aceptable. A partir de 2000 respuestas, la respuesta promediada tiene muy buena calidad.





## **Parte 4**

# **Montaje de los experimentos**

### **Listado de material y diagrama de montaje**

En las siguientes páginas se muestra un listado el material utilizado en el taller y un esquema de montaje del equipo de medida.

En la primera página se incluye un listado completo de material utilizado en el taller. Este primer listado es un check-list incluido para que no se olvide ningún elemento durante la preparación del taller.

En la segunda página se muestra el diagrama de montaje, que representa todos los elementos desplegados para los experimentos y sus conexiones. También se indica un listado de los cables usados para interconectar los distintos elementos y un listado de los accesorios que conviene tener disponibles y que no se muestran en el diagrama de montaje.

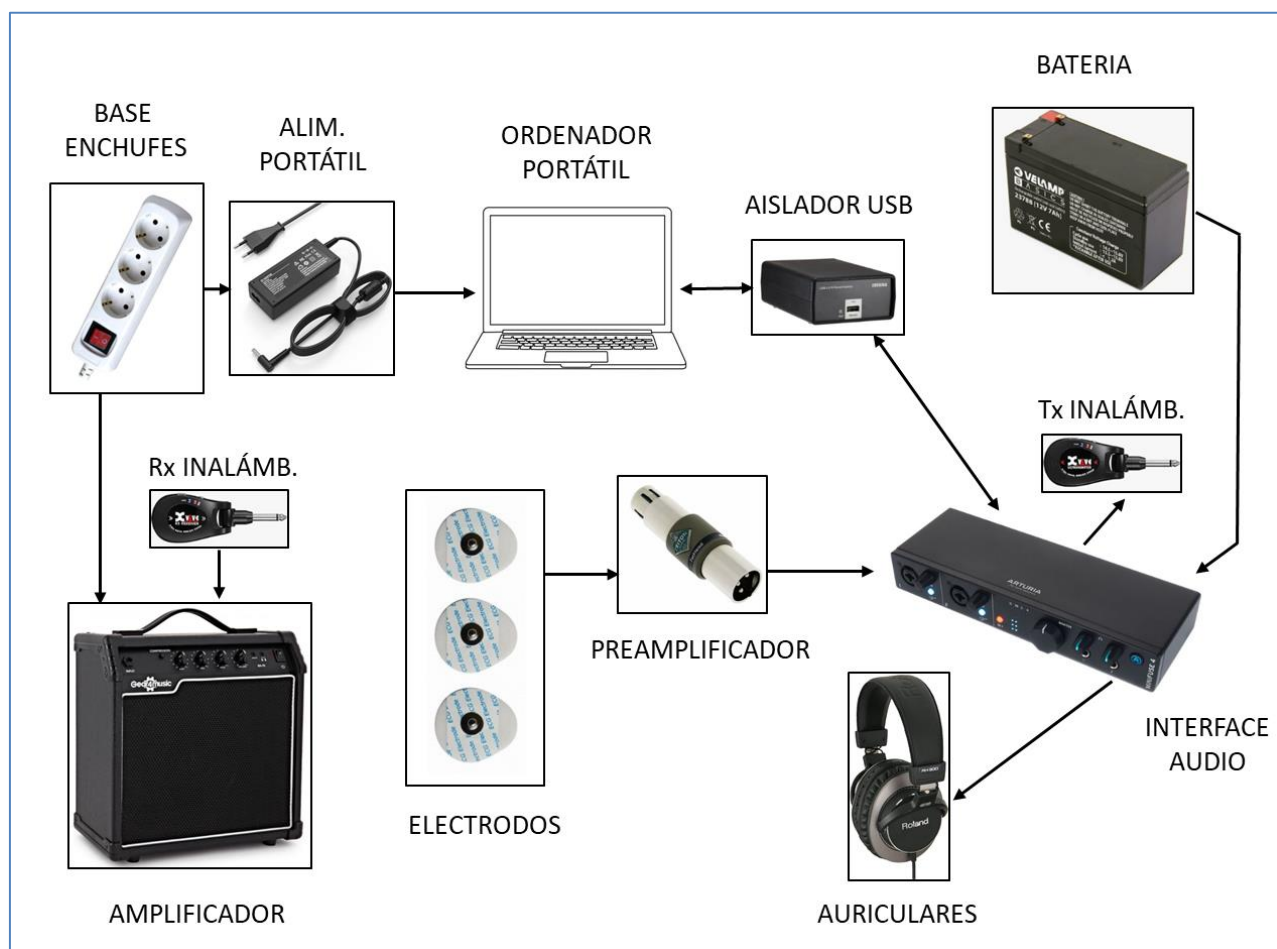
## **DEMO BIOPOTENCIALES CARDIACOS Y POTENCIALES EVOCADOS AUDITIVOS**

### **SISTEMA DE REGISTRO CON ARTURIA MINIFUSE**

#### **LISTADO DE MATERIAL**

- 1. ORDENADOR PORTATIL (MATLAB, SCRIPTS DE LA DEMO, CHARLA)**
- 2. LISTA DE MATERIAL Y ESQUEMA MONTAJE**
- 3. HOJAS DE INFORMACIÓN Y CONSENTIMIENTO (BOLÍGRAFO)**
- 4. INTERFACE DE AUDIO: ARTURIA MINIFUSE + CABLE USB**
- 5. BATERIA 12 V (Pb-ácido) + CARGADOR (CARGADA)**
- 6. AISLADOR USB JCAT + CABLE USB**
- 7. SISTEMA INALÁMBRICO (GUITARRA/BAJO) XVIVE Tx/Rx + CARGADOR USB**
- 8. AMPLIFICADOR O ALTAVOZ AUTOAMPLIFICADO**
- 9. POLÍMETRO**
- 10. REGLETA – BASE ENCHUFES (Mín. 4)**
- 11. ALCOHOL 96º/70º + DISCOS DESMAQUILLADORES**
- 12. AURICULARES CIRCUMAURALES**
- 13. PREAMPLIFICADOR MICRÓFONO JFET (TRITON AUDIO) x 2**
- 14. CABLE BATERÍA FASTON – COAXIAL 3.5 mm x 2**
- 15. CALBE SNAP-CONN. – XLR-M para ELECTRODOS x 2**
- 16. CABLE XLR-F – XLR-M MICRÓFONO (LARGO Y CORTO) 1 de cada**
- 17. BOLSA ELECTRODOS DE SUPERFICIE**
- 18. 2 PINZAS**
- 19. VERIFICAR CARGA BATERIAS (BATERIA 12 V y SISTEMA INALÁMB.)**

## ESQUEMA DE MONTAJE



### CABLES:

1. Cable USB, de portátil a aislador
2. Cable USB, de aislador a interface de audio
3. Cable batería faston – coaxial 3.5mm, de batería a interface de audio
4. Cable Mic. XLR-F – XLR-M, de preamplificador a interface de audio
5. Cable Snap C. – XLR-M, de electrodos a preamplificador

### ACCESORIOS:

1. POLÍMETRO
2. CARGADOR BATERÍA Pb-ácido
3. LISTA MATERIAL/ESQUEMA MONTAJE
4. HOJAS DE INFORMACIÓN / CONSENTIMIENTO INFORMADO, BOLÍGRAFO
5. CARGADOR USB
6. BOLSAS DE ELECTRODOS
7. PINZAS
8. ALCOHOL 70º / 90º Y DISCOS DESMAQUILLAJE



## **Parte 5**

# **Contribución de los autores y agradecimientos**

### **Contribución de los autores**

Este proyecto divulgativo ha sido resultado de un trabajo de investigación y desarrollo con una larga trayectoria (de más de 25 años de duración). El desarrollo de los algoritmos (incluyendo la reducción de ruido de la red eléctrica, la deconvolución para la obtención de la respuesta de la vía auditiva completa, y la deconvolución multirespuesta), y la concepción del sistema de registro modular (a partir de componentes comercialmente disponibles en una tienda de música) han sido tareas coordinadas por Ángel de la Torre. La implementación de los algoritmos en una aplicación amigable que se actualiza en tiempo real (la de biopotenciales cardiacos y las dos de potenciales evocados auditivos) ha estado coordinada por Isaac M. Álvarez. La concepción del taller de biopotenciales ha sido resultado de experiencias previas del equipo de investigación de Ángel de la Torre e Isaac M. Álvarez, puestas en común y discutidas con Juan A. Torres-Lara. La definición del taller y la dinámica de la presentación y realización de actividades, adaptadas al público objetivo de un Museo de Ciencia, ha estado coordinada por Juan A. Torres-Lara.

### **Agradecimientos**

Si bien el desarrollo y preparación del taller ha estado a cargo de los autores, son numerosas las personas e instituciones que han realizado aportaciones relevantes en la definición del taller, que han propuesto sugerencias acertadas tras analizar ensayos o pruebas piloto, que han discutido aspectos científicos o técnicos de gran interés y utilidad para el propósito divulgativo del taller y que han contribuido a que esta idea se haya hecho realidad. En esta sección los autores deseamos dejar constancia de nuestro agradecimiento y reconocimiento por la ayuda prestada a este proyecto.

Del Servicio de ORL del Hospital Universitario Clínico San Cecilio de Granada, debe-

mos destacar la ayuda y colaboración prestada por el Doctor José Luis Vargas Fernández (Jefe del Servicio), y los doctores Juan Martín-Lagos Martínez, Marta Martínez Martínez, Nicolás Müller Locatelli, y Francisco Antonio Chiquero Ortiz, todos ellos con una gran experiencia en evaluación audiológica basada en pruebas electrofisiológicas objetivas y en potenciales evocados auditivos. La colaboración entre el equipo de investigación y este servicio se remonta al año 1999 en el marco del programa de implantes cocleares de este hospital. Esta colaboración ha sido muy importante para comprender el funcionamiento del sistema auditivo y para el desarrollo de la tecnología relacionada con el registro de potenciales evocados auditivos.

El doctor José Manuel Soto Blanco, jefe de UCI-cardiología del Hospital Universitario Clínico San Cecilio de Granada ha sido de gran ayuda supervisando los experimentos relacionados con los biopotenciales cardiacos.

La Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación, y en particular su director, Juan Antonio Muñoz Orellana, ha colaborado activamente en la definición de estrategias para valorizar los resultados relacionados con el procedimiento para la reducción del ruido de la red eléctrica (esencial para el sistema de registro de biopotenciales).

Debemos agradecer el apoyo institucional del Parque de las Ciencias de Andalucía hacia este proyecto divulgativo: la acogida de la idea, la preparación de talleres piloto, las discusiones sobre el enfoque educativo, la inclusión del taller en el ciclo de actividades del “Verano con Ciencia - 2025”, y la puesta a disposición del taller de espacios, recursos, monitores y personal de apoyo. Especial agradecimiento a Alfonso Perez Osia (Director del Museo), Lourdes López Pérez (Jefa de Sección de Divulgación Científica), Gonzalo Rodríguez Morillas (Coordinador del Servicio de Educación), al resto de personal de este servicio, y a los monitores y personal auxiliar del museo, con especial mención a Luis Leiva (que condujo la mayor parte de los pases del taller).

En el plano institucional, el desarrollo científico y tecnológico que da soporte a este taller divulgativo se ha realizado en la Universidad de Granada, y ha estado parcialmente financiado por los proyectos (1) “Hacia los Potenciales Evocados Auditivos Generados por Voz” (Speech-AEPs), referencia PID2020-119073GB-I00, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación - Agencia Estatal de Investigación - Gobierno de España (Convocatoria 2020 Proyectos de I+D+i de los Programas Estatales de Generación de Conocimiento y Fortalecimiento Científico y Tecnológico del Sistema de I+D+i) y (2) “Early Hidden Hearing Loss Detection” (E-HHL-D), referencia P21.00152, financiado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Junta de Andalucía (Convocatoria 2021 de Proyectos de Excelencia en el ámbito del Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación).

Queremos agradecer también la colaboración de las estudiantes que han participado en la realización de los talleres en sus distintas fases de desarrollo y puesta a punto: Andrea Sanz Chamorro, María Raya Rodríguez, Leticia Punzano Mora y Buğçe Özer. Su presencia es esencial para fomentar las vocaciones científicas (los niños y niñas se proyectan más fácilmente en los estudiantes universitarios que en profesores ya entrados en años).

No podemos olvidar a los protagonistas de los talleres divulgativos: el público a quien van dirigidas las actividades, es decir, los niños y jóvenes, estudiantes de educación primaria y secundaria, por su interés en la ciencia y la tecnología, por su curiosidad, por sus preguntas.... Lo sabemos bien los autores: sin público no hay teatro. La ciencia, además, debe transmitir-

se de forma que un niño pueda entenderla, y son los niños quienes nos enseñan cómo debe transmitirse (lo que funciona y lo que no, lo que despierta la curiosidad, lo que realmente se ha transmitido con el taller...). Cuando hablamos de actividades divulgativas con niños/as, debemos recordar a elementos necesarios para hacerlas posibles. Por una parte, los profesores/as que apuestan por incluir en el Plan de Centro esas visitas a Museos o Centros de Investigación, que alteran los bio-ritmos naturales del colegio o el instituto (enfrentándose a veces a quienes lo consideran una pérdida absurda de tiempo), y que refuerzan en el aula la actividad divulgativa. Y por otra parte, las madres y padres que facilitan la visita de sus hijos a los Museos de Ciencia y la participación en estas actividades divulgativas. Nuestro agradecimiento a todos ellos.

Finalmente queremos dedicar un profundo agradecimiento in memoriam al Profesor José Carlos Segura Luna (nos dejó el 10 de Septiembre de 2023), por su contribución al desarrollo de algoritmos avanzados de deconvolución, y al Doctor Manuel Sainz Quevedo (nos dejó el 19 de Enero de 2019), quien siempre apostó por la colaboración multidisciplinar entre físicos, ingenieros y médicos, y con quien Ángel de la Torre (allá por 1999) e Isaac Álvarez (en 2003) dimos nuestros primeros pasos en el mundo de la audiología. Los autores queremos dejar constancia de nuestro reconocimiento al papel esencial que han tenido ambos en los resultados de este proyecto divulgativo.