

# Bloque 3: Neurología-Electroencefalograma

## Introducción a la Electroencefalografía

Luis Bote Curiel  
Francisco Manuel Melgarejo Meseguer

DTSC

Curso 24-25



- ① Introducción
- ② Sistema Nervioso
- ③ El Electroencefalograma (EEG)
- ④ Técnicas de Recogida de Datos
- ⑤ Potenciales Evocados
- ⑥ Bibliografía

# Introducción

## Introducción

El cerebro humano es la materia orgánica más compleja conocida por la humanidad y ha sido objeto de una investigación extensa.

## Complejidad

Su complejidad ha impulsado una investigación multifacética desde propiedades químicas y moleculares de bajo nivel hasta aspectos de alto nivel como la memoria y el aprendizaje.

## Descubrimiento temprano

Richard Caton demostró en 1875 que las señales eléctricas en el rango de microvolts se pueden registrar en la corteza cerebral de conejos y perros.

## Ondas cerebrales

- Hans Berger registró por primera vez “ondas cerebrales” eléctricas al colocar electrodos en el cuero cabelludo humano.
- Berger observó que las ondas cerebrales diferían entre sujetos sanos y sujetos con patologías neurológicas, y también dependían del estado mental del sujeto.

# Electroencefalografía (EEG)

## Fundación de la EEG

Los experimentos de Berger se convirtieron en la base de la electroencefalografía, una herramienta clínica no invasiva para comprender mejor el cerebro humano.

## Interpretación clínica del EEG

La interpretación clínica del EEG ha evolucionado hasta convertirse en una disciplina por derecho propio.

## Diversidad de patrones de EEG

Hasta ahora, no se ha presentado ningún modelo biológico o matemático único que explique completamente la diversidad de los patrones de EEG.

## Disciplina fenomenológica

La interpretación del EEG sigue siendo en gran medida una disciplina clínica fenomenológica.

# Sistema Nervioso

## Función

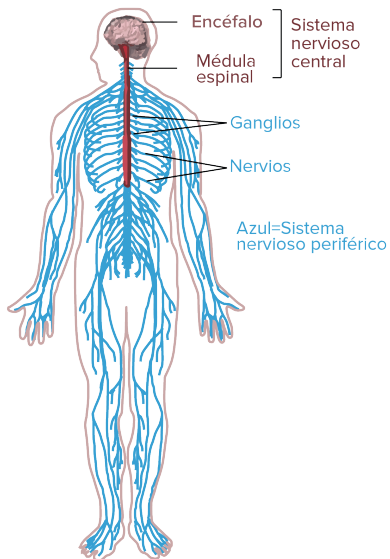
El sistema nervioso recoge, comunica y procesa información del cuerpo, asegurando que los cambios internos y externos se manejen rápida y precisamente.

- **Sistema Nervioso Central (SNC):** Compuesto por el cerebro y la médula espinal.
- **Sistema Nervioso Periférico (SNP):** Conecta el SNC con los órganos y sistemas sensoriales del cuerpo.

## Integración

- El SNC procesa la información sensorial recibida del SNP.
- El SNP envía respuestas del SNC a los órganos del cuerpo.
  - **Nervios Aferentes (Sensitivos):** Transmiten señales al SNC.
  - **Nervios Eferentes (Motores):** Transmiten señales desde el SNC, pudiendo provocar contracción muscular.





# División Funcional del Sistema Nervioso

## Sistema Somático y Autónomo

- **Sistema Somático:** Incluye los nervios que controlan la actividad muscular en respuesta a comandos conscientes y transmite sensaciones físicas.
- **Sistema Autónomo:** Regula las actividades corporales fuera del control consciente, como la actividad cardíaca y la actividad muscular en órganos internos (vejiga, útero).

## Subsistemas del Sistema Autónomo

- **Sistema Nervioso Simpático:** Predomina durante la actividad física.
- **Sistema Nervioso Parasimpático:** Predomina durante la relajación.

Ambos subsistemas inervan los mismos órganos y mantienen el equilibrio adecuado del entorno interno de los órganos.

## Respuesta al Ejercicio y al Miedo

Durante el ejercicio físico o cuando se experimenta miedo, el sistema simpático aumenta la frecuencia cardíaca, mientras que el sistema parasimpático la disminuye.

## Neurona

La unidad funcional básica del sistema nervioso es la célula nerviosa, la neurona, que comunica información hacia y desde el cerebro. Todas las células nerviosas se denominan colectivamente neuronas, aunque su tamaño, forma y funcionalidad pueden variar ampliamente.

## Clasificación

Las neuronas pueden clasificarse según su morfología o funcionalidad. Usando la clasificación funcional, se pueden definir tres tipos de neuronas:

- **Neuronas sensoriales:** conectadas a receptores sensoriales.
- **Neuronas motoras:** conectadas a músculos.
- **Interneuronas:** conectadas a otras neuronas.

# Neuronas II

## Estructura de la Neurona

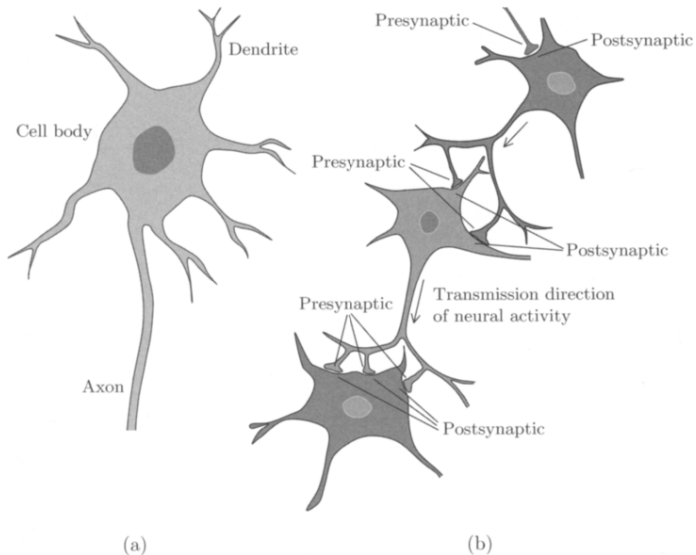
La neurona arquetípica consiste en un cuerpo celular, el soma, del cual se extienden dos tipos de estructuras: las dendritas y el axón.

- **Dendritas:** pueden consistir en miles de ramas, cada una recibiendo una señal de otra neurona.
- **Axón:** generalmente una sola rama que transmite la señal de salida de la neurona a varias partes del sistema nervioso.

## Sinapsis

La transmisión de información de una neurona a otra ocurre en la sinapsis, una unión donde la parte terminal del axón contacta con otra neurona.

- La señal, iniciada en el soma, se propaga a través del axón codificada como un potencial de acción.
- Aunque esta señal es inicialmente eléctrica, se convierte en una señal química (neurotransmisor) en la neurona presináptica, que difunde a través de la brecha sináptica y se reconvierte en una señal eléctrica en la neurona postsináptica.



# Señales Sinápticas

## Suma en la Neurona Postsináptica

La suma de las muchas señales recibidas de las entradas sinápticas se realiza en la neurona postsináptica. La amplitud de la señal sumada depende del número total de señales de entrada y de la proximidad temporal de estas señales.

## Amplitud y Umbral

La amplitud de la señal sumada debe superar un cierto umbral para que la neurona dispare un potencial de acción. No todas las neuronas contribuyen a la excitación de la neurona postsináptica; también pueden ocurrir efectos inhibitorios debido a una estructura química particular asociada con ciertas neuronas.

## Integración de Señales

Una neurona postsináptica recibe señales tanto excitadoras como inhibitorias, y su salida depende de cómo se suman las señales de entrada. Esta operación de entrada/salida representa una computación neural y se realiza repetidamente en miles de millones de neuronas.

# Propagación de la Actividad Eléctrica

## Potenciales de Acción

A diferencia de la actividad eléctrica medida en el cuero cabelludo, la actividad eléctrica que se propaga a lo largo del axón se manifiesta como una serie de potenciales de acción, todos con amplitudes idénticas.

- La propiedad *todo o nada* de la neurona explica que un potencial de acción se dispare con una amplitud fija o no ocurra en absoluto.
- La intensidad de las señales de entrada se modula por la tasa de disparo de los potenciales de acción.

## Interconexión de Neuronas

Las neuronas no trabajan en aislamiento, sino que están interconectadas en diferentes circuitos (*redes neuronales*), y cada circuito está diseñado para procesar un tipo específico de información.

- Un ejemplo conocido de un circuito neural es el reflejo rotuliano.
- Este circuito se activa por receptores musculares que, mediante un golpe de martillo, inician una señal que viaja a lo largo de una vía aferente.

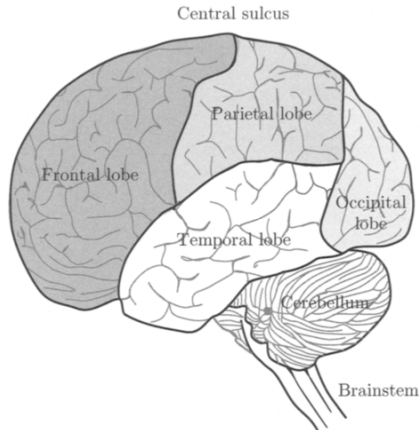
# Importancia de la Corteza Cerebral

## Corteza Cerebral

La corteza cerebral es la parte más importante del SNC, y las diferentes regiones de la corteza son responsables de procesar funciones vitales como la sensación, el aprendizaje, el movimiento voluntario, el habla y la percepción.

## Características

La corteza es la capa más externa del cerebro y tiene un grosor de 2-3 mm. La superficie cortical está altamente convolucionada por crestas y valles de varios tamaños, lo que aumenta el área neuronal; el área total es de hasta 2.5 m<sup>2</sup> e incluye más de 10 mil millones de neuronas.





# Hemisferios y Lóbulos

## División

La corteza consiste en dos hemisferios simétricos, izquierdo y derecho, separados por la fisura sagital profunda (el surco central). Cada hemisferio se divide en cuatro lóbulos diferentes: frontal, temporal, parietal y occipital.

## Corteza Motora

El movimiento voluntario es controlado principalmente por el área del lóbulo frontal justo anterior al surco central: la corteza motora. Las tareas que requieren un considerable control muscular, como el habla, ciertas expresiones faciales y movimientos de los dedos, están asociadas con la subárea más grande de la corteza motora.

## Cortezas Sensoriales

- **Corteza auditiva:** ubicada en la parte superior del lóbulo temporal.
- **Corteza visual:** ubicada en la parte posterior de los lóbulos occipitales.
- **Corteza somatosensorial:** ubicada justo posterior al surco central del lóbulo parietal.

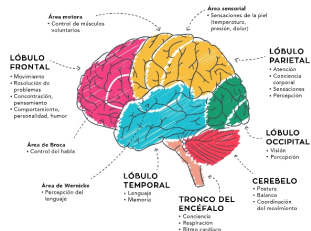
# Áreas Primarias y Secundarias

## Áreas primarias

Las áreas corticales mencionadas se denominan áreas primarias ya que estas neuronas están especializadas para un propósito particular. Las áreas primarias son relativamente pequeñas en tamaño, pero están complementadas con áreas más grandes y circundantes que son esenciales para las habilidades mentales características de los seres humanos.

## Áreas Secundarias

Las neuronas de un área secundaria analizan, por ejemplo, la información visual en mayor detalle con respecto a la forma, color y tamaño de un objeto. Estas neuronas también proporcionan referencias asociativas a otros sentidos e integran la información presente con experiencias y conocimientos anteriores.



© Decadario 2020 | Freepress.com

# El Electroencefalograma (EEG)

## Actividad Neuronal

- La actividad eléctrica colectiva de la corteza cerebral se refiere comúnmente como un ritmo porque las señales medidas a menudo exhiben un comportamiento oscilatorio y repetitivo.
- La actividad de una sola neurona cortical no puede medirse en el cuero cabelludo debido a las gruesas capas de tejido (fluidos, huesos y piel) que atenúan la señal eléctrica cuando se propaga hacia el electrodo.

## Actividad Conjunta

- Sin embargo, la actividad conjunta de millones de neuronas corticales, a una profundidad de varios milímetros, produce un campo eléctrico lo suficientemente fuerte como para ser medido en el cuero cabelludo.
- La diversidad de ritmos EEG es enorme y depende, entre otras cosas, del estado mental del sujeto, como el grado de atención, vigilia y sueño.
- Los ritmos se caracterizan convencionalmente por su rango de frecuencia y amplitud relativa.

## Sincronía Neuronal

La amplitud de la señal EEG está relacionada con el grado de sincronía con el que interactúan las neuronas corticales.

- La excitación sincrónica de un grupo de neuronas produce una señal de gran amplitud en el cuero cabelludo.
- La excitación asincrónica de las neuronas resulta en un EEG irregular con formas de onda de baja amplitud.

## Sostenimiento de la Frecuencia

La frecuencia de un ritmo EEG es sostenida parcialmente por la actividad de entrada del tálamo, que posee propiedades de marcapasos.

## Interacciones Coordinadas

Otra razón del comportamiento rítmico son las interacciones coordinadas entre las neuronas corticales en una región específica de la corteza.

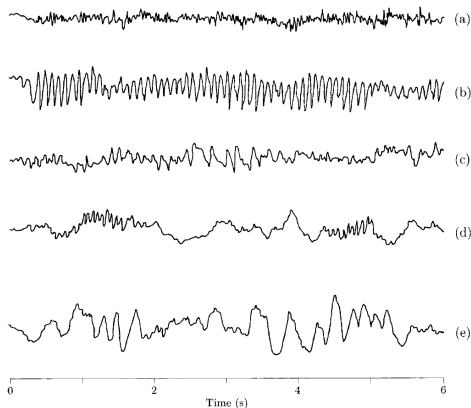
# Relación entre Frecuencia y Amplitud

## Ritmos de Alta y Baja Frecuencia

Los ritmos de alta frecuencia y baja amplitud reflejan un cerebro activo asociado con la alerta o el sueño con sueños, mientras que los ritmos de baja frecuencia y gran amplitud están asociados con la somnolencia y los estados de sueño sin sueños.

## Hipótesis

El significado de los diferentes ritmos cerebrales en gran medida sigue sin explicarse, aunque se han propuesto varias hipótesis.



**Figura:** Ritmos electroencefalográficos observados durante varios estados desde la vigilia hasta el sueño: (a) excitado, (b) relajado, (c) somnoliento, (d) dormido y (e) profundamente dormido.

# Características de los Ritmos EEG

## Resumen

Las señales registradas desde el cuero cabelludo tienen amplitudes que van desde unos pocos microvoltios hasta aproximadamente 100  $\mu\text{V}$  y un contenido de frecuencia que varía de 0.5 a 30-40 Hz. Los ritmos electroencefalográficos, también conocidos como ritmos de fondo, se clasifican convencionalmente en cinco bandas de frecuencia diferentes.

## Bandas de Frecuencia

- **Ritmo Delta**,  $<4$  Hz: Encontrado típicamente durante el sueño profundo.
- **Ritmo Theta**, 4-7 Hz: Ocurre durante la somnolencia y en ciertas etapas del sueño.
- **Ritmo Alfa**, 8-13 Hz: Prominente en sujetos relajados y despiertos con los ojos cerrados.
- **Ritmo Beta**, 14-30 Hz: Asociado con una corteza activada.
- **Ritmo Gamma**,  $>30$  Hz: Relacionado con el procesamiento activo de información.

## Duración

La mayoría de los ritmos mencionados pueden persistir hasta varios minutos, mientras que otros ocurren solo por unos pocos segundos, como el ritmo gamma.

## Señales Irregulares

Es importante darse cuenta de que un ritmo no está presente todo el tiempo, sino que una señal irregular y "arrítmica" puede prevalecer durante largos intervalos de tiempo.

## Ondas Agudas y Espigas

Las espigas y ondas agudas (SSWs) son formas de onda transitorias que se destacan del EEG de fondo con un patrón temporal irregular e impredecible.

- **Espigas:** Duración de 20-70 ms.
- **Ondas Agudas:** Duración de 70-200 ms.



## Complejos de Espiga-Onda

Las espigas pueden ocurrir como eventos aislados o en varios tipos de secuencias, conocidas colectivamente como complejos de espiga-onda.

Los complejos de espiga-onda ocurren a tasas de repetición que varían de menos de 3 a 6 Hz.

## Ritmos del Sueño

El cerebro tiene tres estados funcionales esenciales: despierto, sueño sin movimiento ocular rápido (REM) y sueño con REM.

## Ritmos del Sueño No-REM

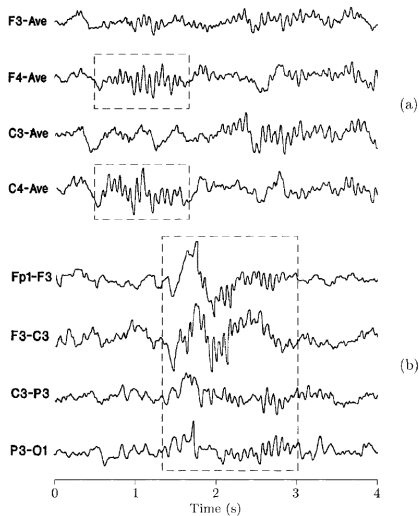
El sueño No-REM es un estado *inactivo* asociado con el descanso del cerebro y las funciones corporales. Los ritmos EEG lentos y de gran amplitud durante el sueño No-REM indican un alto grado de sincronía de las neuronas corticales subyacentes.

## Ondas Características

Durante las diferentes etapas del sueño ocurren varias formas de onda transitorias características:

- **Ondas Vértice:** Respuestas a estímulos externos como sonidos.
- **Husos del Sueño:** Ráfagas de actividad similar al ritmo alfa con una duración de 0.5-1 s.
- **Complejos K:** Fusión de husos del sueño y ondas vértice.

# Ejemplo



**Figura:** Señales electroencefalográficas registradas durante el sueño con (a) husos del sueño y (b) complejos K; observe que cada complejo K es la fusión de una onda vértice y

## Características del Sueño REM

El sueño REM corresponde a un cerebro activo, probablemente ocupado en soñar. El EEG durante el sueño REM se asemeja al del cerebro despierto y los ritmos beta están presentes.

## Movimientos Oculares Rápidos

Un rasgo prominente del estado de sueño REM es que los ojos, con los párpados cerrados, se mueven rápidamente de un lado a otro en un patrón irregular.



## Definición

Durante una crisis epiléptica, el EEG se denomina EEG ictal, manifestado por un ritmo anormal con un aumento repentino en la amplitud.

## Variabilidad

El EEG ictal puede exhibir una variabilidad considerable de una crisis a otra, lo que dificulta su detección.

## Categorías

### 1 **Etapas 1: Somnolencia**

- Profundidad: Somnolencia
- Formas de Onda: Desde caídas de alfa hasta ondas vértice

### 2 **Etapas 2: Sueño ligero**

- Profundidad: Sueño ligero
- Formas de Onda: Ondas vértice, husos del sueño, complejos K

### 3 **Etapas 3: Sueño profundo**

- Profundidad: Sueño profundo
- Formas de Onda: Mucho enlentecimiento, complejos K, algunos husos

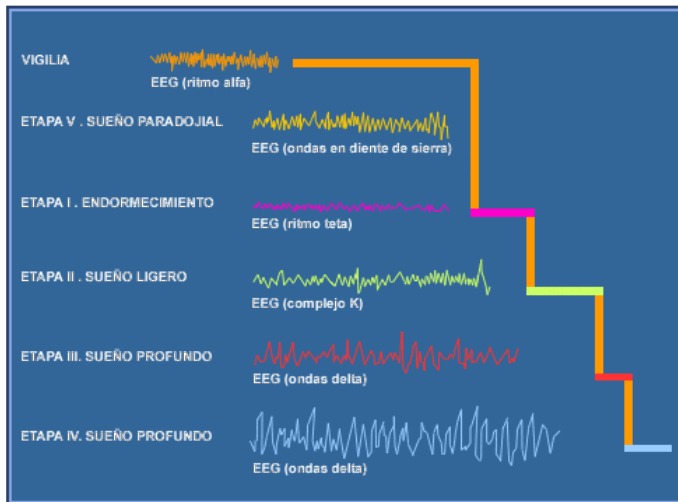
### 4 **Etapas 4: Sueño muy profundo**

- Profundidad: Sueño muy profundo
- Formas de Onda: Mucho enlentecimiento, algunos complejos K

### 5 **Etapas REM: Sueño REM**

- Profundidad: Sueño REM
- Formas de Onda: Desincronización con frecuencias más rápidas

# Ejemplo





# Categorías de Actividad EEG

## Actividad sin cambios temporales importantes

- Actividad de vigilia normal y espontánea en reposo, por ejemplo, con los ojos abiertos o cerrados; varios tipos de ritmos alfa, beta y theta.

## Actividad que varía lentamente en el tiempo

- Actividad de fondo del sueño, actividad de fondo postictal, descargas de crisis prolongadas.

## Actividad intermitente

- Ritmo lento intermitente, husos del sueño, es decir, actividad con patrones estables durante intervalos de varios segundos.

## Actividad paroxística

- Espigas, ondas agudas, complejos espiga-onda, formaciones de espiga-onda de 3 Hz, complejos K y ondas vértice observadas durante el sueño, es decir, diferentes tipos de actividad transitoria.

# Técnicas de Recogida de Datos

## Sistema de Grabación

- El EEG clínico se registra comúnmente utilizando el sistema internacional 10/20, que es un sistema estandarizado para la colocación de electrodos.
- Emplea 21 electrodos adheridos a la superficie del cuero cabelludo.
- Los números 10 y 20 indican distancias relativas entre ubicaciones de electrodos en el perímetro del cráneo.

## Electrodos Bipolares y Unipolares

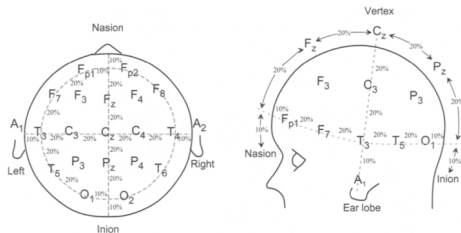
- Bipolares: utilizados en la rutina clínica.
- Unipolares: requieren un electrodo de referencia posicionado a distancia o tomado como el promedio de todos los electrodos.

## Resolución Espacial

- La distancia interelectrodo en el sistema 10/20 es de aproximadamente 4.5 cm en una cabeza adulta típica.
- Se puede requerir una resolución espacial mejorada cuando se trata de mapeo cerebral.

## Técnica de Análisis Espacial

- El mapeo cerebral es una técnica en la que la actividad EEG se representa como un mapa topográfico proyectado sobre el cuero cabelludo.
- El uso de pocos electrodos puede resultar en aliasing en el dominio espacial, representando la actividad eléctrica de manera inexacta.
- Los estudios indican que el número total de electrodos utilizados en aplicaciones de mapeo cerebral debe ser de 64 o más para proporcionar suficiente detalle.



**Figura:** El sistema internacional 10/20 para el registro de EEG clínicos. Los puntos de referencia anatómicos se definen como la parte superior de la nariz (nasion) y la parte posterior del cráneo (inion). Las letras F, P, C, T, O y A denotan frontal, parietal, central, temporal, occipital y auricular, respectivamente. Tenga en cuenta que los electrodos con números impares están en el lado izquierdo, los electrodos con números pares están en el lado derecho y z (cero) está a lo largo de la línea media.

## Adquisición de Señales EEG

- La tasa de muestreo para la adquisición de señales EEG generalmente se selecciona para ser al menos 200 Hz, teniendo en cuenta los rangos de frecuencia de las actividades rítmicas.
- Un análisis más detallado de las formas de onda transitorias y evocadas puede requerir una tasa de muestreo considerablemente mayor.

## Potenciales Evocados

## Definición

- Los Potenciales Evocados (PE) son respuestas eléctricas del cerebro a estímulos sensoriales específicos.
- Se utilizan para evaluar la integridad y función de las vías sensoriales en el sistema nervioso.



# Tipos de Potenciales Evocados

## Potenciales Evocados Visuales (PEV)

- Respuesta a estímulos visuales.
- Evaluación de la función del sistema visual.

## Potenciales Evocados Auditivos (PEA)

- Respuesta a estímulos sonoros.
- Evaluación de la función auditiva.

## Potenciales Evocados Somatosensoriales (PES)

- Respuesta a estímulos táctiles o eléctricos.
- Evaluación de la integridad de las vías sensoriales somáticas.

## Diagnóstico y Evaluación

- Diagnóstico de epilepsia y localización de focos epilépticos.
- Evaluación de enfermedades desmielinizantes como la esclerosis múltiple.
- Detección de lesiones neurológicas.

## Metodología

- Estimulación repetida y promediación de resultados.
- Representación gráfica en forma de ondas.

# Procesado de Potenciales Evocados

## Procedimiento

- **Registro:** Se colocan electrodos en el cuero cabelludo y otras áreas del cuerpo para captar la actividad eléctrica.
- **Estimulación:** Se aplican estímulos sensoriales específicos (visuales, auditivos, somatosensoriales).
- **Promediación:** Las respuestas eléctricas se registran y promedian digitalmente para mejorar la relación señal-ruido.
- **Análisis:** Se miden la latencia y amplitud de los picos de los potenciales evocados.

## Promediación

- **Necesidad de Promediación:** Los PE son de baja amplitud y están inmersos en ruido fisiológico y ambiental.
- **Proceso de Promediación:** Se registran múltiples respuestas a estímulos repetidos y se promedian para reducir el ruido y resaltar la señal.
- **Beneficios:** Mejora la relación señal-ruido, permitiendo una detección más clara y precisa de los PE.

## Visualización

- Los resultados se muestran en un osciloscopio y se almacenan digitalmente.
- Las ondas resultantes se analizan para identificar posibles anomalías en las vías nerviosas.

## Análisis

- Se evalúan parámetros como la latencia (tiempo de respuesta) y la amplitud (intensidad de la respuesta).
- Estos parámetros ayudan a diagnosticar y monitorear diversas condiciones neurológicas.

## Bibliografía



L. Sörnmo and P. Laguna, *Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications*.

Academic Press series in biomedical engineering, Elsevier Science, 2005.