

# ELECTROENCEFALOGRAMA

*Autores*

Dra. Yaimí Rosales Mesa  
Dr. Pedro Figueredo Rodríguez  
Dr. José A. González Hernández

*Servicio*

Neurofisiología Clínica

## INTRODUCCIÓN

El electroencefalograma, conocido por las siglas EEG es un término introducido por el psiquiatra alemán *Hans Berger*, quien fue el primero en registrar fluctuaciones eléctricas en humanos mediante electrodos colocados en el cuero cabelludo. El EEG es definido como el registro de la actividad eléctrica cerebral representada en una gráfica de voltaje (eje y) contra el tiempo (eje x).

El conjunto de fenómenos que registramos con el EEG, no se originan en la totalidad del cerebro, sino solo en la corteza cerebral. No obstante, las estructuras subcorticales son exploradas indirectamente con esta prueba pues el registro obtenido es una respuesta integrada de las estructuras córtico-subcorticales reflejadas en las capas más superficiales de la corteza.

El EEG digital se ha desarrollado significativamente por las facilidades de recogida, edición y almacenamiento de los registros. Flexibiliza el modo de analizar los trazados, a diferencia de los equipos analógicos que registran en papel. Posibilita cambiar el montaje, los filtros y la ganancia de forma retrospectiva durante el análisis del estudio.

De manera general es imposible interpretar un trazado electroencefalográfico como expresión de las funciones cerebrales o del estado de salud de un individuo. Debe recordarse que no existen patrones electroencefalográficos patognomónicos.

### ***Electroencefalograma convencional***

#### **Consideraciones preliminares**

La cantidad y calidad de información que puede brindar el EEG está relacionada con el rigor técnico del registro, el cual depende de diversos factores:

- Pericia y dedicación del personal técnico: debe poseer no solo conocimientos acerca de la técnica de registro sino de las principales características semiológicas, de modo que pueda tomar decisiones durante el registro.
- Local de ubicación: este estudio requiere de condiciones ambientales especiales como son el silencio y la temperatura agradable.

- Características propias del equipo.
- Estado de conciencia y nivel de cooperación del paciente.
- Condiciones de registro: posición corporal y nivel de relajación del paciente.

La información que genera el EEG es compleja, revestida de subjetividad, en la que el neófito tiende a favorecer la sobreinterpretación. En todo caso, para un análisis visual se requiere experiencia para no quedar abrumado por la magnitud de la información presentada.

La actividad eléctrica cerebral en condiciones normales, varía en dependencia de varios factores internos (edad, sexo, vigilia-sueño, estado psicoafectivo, factores metabólicos) y externos (ambientales, toma de fármacos, procedimientos de activación). Por esa razón es difícil encontrar una definición del EEG normal, en base a la presencia de los múltiples patrones eléctricos que pueden observarse en personas sin enfermedad. De forma general un EEG normal puede ser definido como aquel trazado que carece de patrones electrográficos cuya presencia se asocia con alteraciones clínicas.

Un EEG normal no implica ausencia de patología cerebral, pues no todas las alteraciones neurológicas estructurales o funcionales originan alteraciones en el registro. Por ejemplo, puede ser normal en enfermedades degenerativas. Por otra parte, las enfermedades producen anomalías intermitentes o infrecuentes que pueden no aparecer durante un registro rutinario.

Existen electrodos especiales para el estudio invasivo o semi-invasivos de las epilepsias, entre los que se encuentran: el temporal anterior, nasofaríngeo, esfenoidal, etmoidal, entre otros. Pero en nuestro medio se emplean solo los contemplados en el sistema internacional 10-20, al cual se hará referencia posteriormente. La combinación de varios canales y sus respectivas fuentes conforma lo que se conoce como un montaje de registro. Un canal registra la diferencia de potencial entre dos puntos.

### **Objetivo**

- Obtener registros con valor en el diagnóstico clínico.

### **Recursos humanos**

- Técnicos de laboratorio en Investigación y Servicios
- Especialista en Fisiología Normal y Patológica.

### **Recursos materiales**

- Electroencefalógrafo digital
- Electroodos de superficie
- Pasta conductora, alcohol, acetona y gasa

### **Indicaciones**

Los estudios electroencefalográficos tienen mayor utilidad práctica en disciplinas como Neurología y Neurocirugía. Deben ser indicados principalmente en enfermedades tales como:

- La epilepsia: El EEG sirve de apoyo al diagnóstico, pues el mismo es eminentemente clínico. Cuando no existen elementos clínicos definitivos, la identificación de descargas paroxísticas epileptiformes en el EEG, solo sugiere la posibilidad de crisis epilépticas. La presencia de descargas interictales epileptiformes verdaderas permite distinguir la epilepsia de otros desórdenes intermitentes. Un único electroencefalograma es normal hasta en un 50% de los pacientes con epilepsia. Incluso si realiza de forma seriada permanecen normales de un 10 al 20% de los registros obtenidos. Esta circunstancia reitera la necesidad de basar el diagnóstico de epilepsia en la clínica y no en un hallazgo aislado positivo o negativo del EEG.

En el laboratorio de electroencefalografía no es frecuente que se registren crisis epilépticas. Aunque constituye una extraordinaria oportunidad para hacer una correlación clínico electrográfica, esto solo se logra contando con personal debidamente entrenado en el reconocimiento y observación de crisis. Por otra parte, puede presentarse una crisis epiléptica en ausencia de cambios en el EEG.

- Tumores cerebrales: con el desarrollo de las técnicas de neuroimágenes el EEG ha perdido utilidad. La magnitud de los cambios en la actividad eléctrica depende de factores como: la localización, tamaño y tipo de tumor, presencia de edema peritumoral o de hipertensión endocraneana. De manera que puede ser normal en lesiones cerebrales de pequeño tamaño, de evolución crónica o de situación profunda.

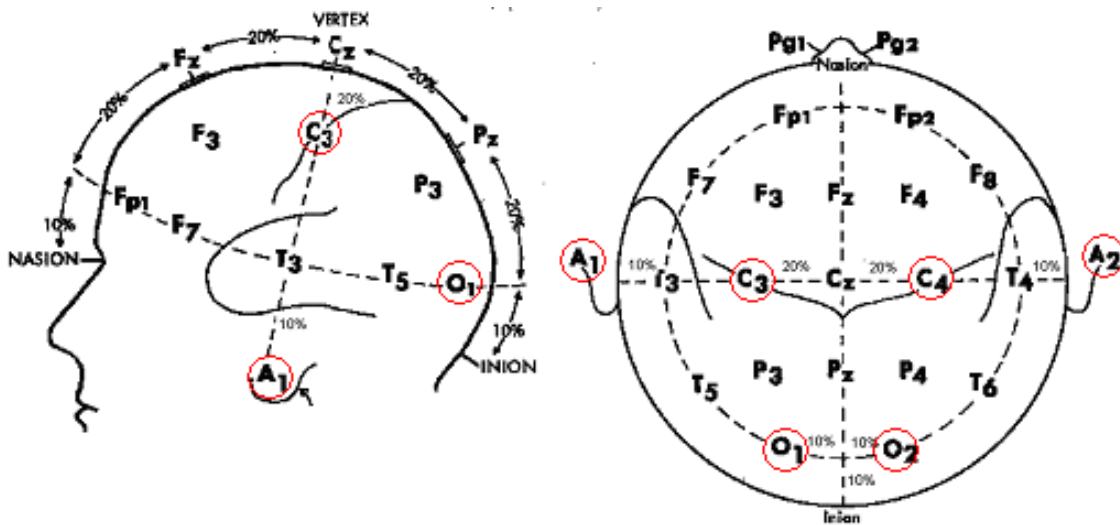
Otras indicaciones:

- Trastornos psiquiátricos: irónicamente, aunque el EEG fue descubierto por un psiquiatra, la contribución de esta técnica en ese campo es decepcionante. Actualmente se le da mayor valor a los estudios psicofisiológicos que al EEG, excepto que se pretenda evaluar estado de conciencia del paciente o determinar la presencia de lesiones en pacientes con cambios conductuales.
- Enfermedades cerebrovasculares: posibilita el diagnóstico en algunas ocasiones, en etapas tempranas de eventos isquémicos de extensión considerable en que todavía no se han establecido cambios estructurales que puedan detectarse con técnicas de neuroimágenes.
- Traumatismos craneoencefálicos: el EEG evalúa actividad funcional y permite dar un pronóstico según intensidad y extensión de la lesión.
- Encefalopatías inflamatorias o metabólicas y el coma: a lo largo del curso de la afección, puede informar acerca de la severidad y evolución del trastorno.
- Muerte encefálica: como complemento diagnóstico cuando se cumplen determinados criterios técnicos.

- Cefalea: el EEG no está incluido en los criterios diagnósticos para la migraña u otra categoría de cefalea. La mayoría de los casos no tiene una lesión estructural que explique el dolor. Además el EEG no es recomendado para excluir una causa estructural cuando se dispone de neuroimágenes. De manera que no se emplea como rutina en estos pacientes. Ello no excluye su empleo para evaluar pacientes con síntomas asociados que sugieran epilepsia.

## Orientaciones

- Reflejar la edad, sexo, hora del registro y medicamentos que ingiere el paciente.
- Siempre se debe calibrar el equipo inicialmente durante 3 ó 5 minutos a fin de: garantizar la homogeneidad de las señales en los diferentes canales, verificar el estado técnico de cada canal y proporcionar un patrón de amplitud que permita medir los grafoelementos.
- El estudio se realizará con el paciente acostado en decúbito supino y se le pedirá el máximo de relajación física y mental posible.
- Se limpiará el cuero cabelludo con solución de acetona u otro disolvente orgánico no irritante en cada uno de los sitios donde serán colocados los electrodos de registro, de tierra y de referencia.
- La colocación de los electrodos se realizará según el sistema internacional 10-20 (protocolo normalizado a partir de las referencias anatómicas inion y nasion longitudinalmente, y los tragos auriculares, transversalmente que asegura se coloquen los electrodos sobre las mismas áreas, independiente del tamaño de la cabeza.). La nomenclatura de los canales se deriva del lóbulo subyacente, excepto el central. Como mínimo se aceptan 8 canales de registro.



**Figura 1.** Colocación simétrica de los electrodos siguiendo el sistema 10-20.

Se marca una referencia transversal en la mitad de distancia entre el nasion y el inion y otra longitudinal, de la misma manera, entre A1-A2, apuntando esta medida. Desde el punto hallado (Cz), se mide hacia la izquierda (C3) y la derecha (C4) el 20% de la distancia A1-A2. Para colocar los electrodos O1 y O2 se mide la distancia inión-nasión a través de Cz. Desde el 10% por encima del inión se desplaza hacia la izquierda y la derecha un 10% de la medida citada anteriormente.

- Los electrodos se fijarán a la piel con pasta conductora y sobre ellos se colocará una gasa estéril o cinta de esparadrapo de pequeñas dimensiones.
- El electrodo de tierra se colocará en la región central de la frente.
- Los electrodos de referencia serán colocados en los lóbulos de las orejas o las apófisis mastoides.
- La actividad EEG se divide convencionalmente en 4 bandas de frecuencias desde las más lentas a las más rápidas: delta (0.5-3 Hz), theta (4-7 Hz), alfa (8-13 Hz) y beta (14-30 Hz). Por lo tanto los filtros deben permitir el paso de estas frecuencias, con una constante de tiempo de 0.1 ó 0.2. Debe incluirse el filtro para evitar interferencia de 60 Hz.
- Antes de comenzar el registro se debe medir la impedancia de los electrodos, la cual debe estar por debajo de 10 kOhms en el caso de los registros de rutina.
- La sensibilidad o ganancia de los amplificadores debe ser colocada a  $7\mu\text{V}/\text{mm}$
- El registro de las señales del EEG debe tener como mínimo una duración de 10 minutos que incluyen:
  - ⊕ Actividad en reposo con los ojos cerrados (alrededor de 3 minutos)
  - ⊕ Verificación de la reactividad ante la apertura de los ojos (en 2 ó 3 ocasiones)
  - ⊕ Maniobras de activación
  - ⊕ Fase de recuperación (3 minutos)
- La mayoría de los artefactos se reconocen con facilidad cuando se observa durante el registro cómo estos se han originado. Con frecuencia son fuente de engaño debido a su similitud con los auténticos potenciales, por lo que el estudio debe repetirse si se considera necesario.
- El registro así obtenido podrá ser analizado entonces por inspección visual de la forma convencional por un médico especialista en Neurofisiología o en Neurología.
- Los grafoelementos a considerar como paroxismos deben reunir los criterios siguientes: ser independientes de la actividad de base, aparecer y desaparecer bruscamente en el trazado, ser de breve duración y que su

amplitud al menos duplique la de la actividad de base. El término paroxístico por sí solo no tiene una connotación patológica.

### **Maniobras de activación**

Son métodos empleados para inducir actividad electrográfica anormal que no se manifiesta espontáneamente, aunque también pueden incrementar una actividad patológica previa. La mayoría de estas maniobras, sin embargo, también provocan actividad EEG en individuos normales, diferente a la encontrada en los trazados obtenidos en reposo y que debe distinguirse cuidadosamente de los patrones con un significado patológico establecido.

En algunos laboratorios de EEG se utilizan disímiles pruebas de activación como el cálculo mental, lectura, visualización de patrones geométricos, entre otros; son de uso infrecuente y útiles en pacientes seleccionados. En la práctica uno de los procedimientos más útiles que se realizan de manera rutinaria es la hiperventilación. Consiste en respirar profunda y rápidamente, tomando el aire por la nariz y expulsándolo por la boca sin mover la cabeza durante 3 minutos.

La interpretación de un trazado EEG durante la hiperventilación puede ser difícil debido a alguno de los siguientes hechos:

- Tiene un efecto marcado en personas normales, por lo que puede inducir a errores diagnósticos.
- El efecto normal de la hiperventilación cambia con la edad y con el nivel de glucemia, por lo tanto es importante conocer si hubo ingesta de alimentos previa al registro.
- La hiperventilación puede producir artefactos de diverso origen: movimientos rotatorios de los ojos, temblor cefálico (puntas musculares de 4-6 Hz), movimientos de la lengua, deglución o tos.
- Puede producir: parestesias, mareo, sensación de irrealidad o confusión leve, síntomas autonómicos como sudoración y síncope. Una combinación de estos síntomas puede ser a veces difícil de diferenciar de una crisis epiléptica, precisándose la experiencia de un buen técnico para obtener un diagnóstico clínico correcto.

De hecho, el técnico debe anotar la existencia de manifestaciones clínicas desencadenadas por la hiperventilación, incluyendo episodios breves de alteración de la capacidad de reacción. La ausencia de actividad epileptiforme asociada, razonablemente, excluye una etiología epiléptica de las mismas.

### **Muerte encefálica**

La metodología que se emplea habitualmente en los laboratorios de electroencefalografía no cumple los requisitos para el diagnóstico de un silencio eléctrico cerebral (SEC). Para que el EEG tenga valor con fines diagnósticos debe cumplir determinadas condiciones técnicas:

- **Se deben utilizar como mínimo ocho electrodos en el cuero cabelludo, además del electrodo de tierra y los de referencia.**
- Las impedancias interelectrodos deben estar entre 100 y 10000 Ohms.
- Se debe probar la integridad del sistema de registro: calibrar el equipo para comprobar la integralidad de los amplificadores y tocar suavemente los electrodos para producir en el registro el artefacto que asegure el adecuado funcionamiento.
- La distancia interelectrodos debe ser amplia, al menos 10 cm. Con el sistema 10-20, las distancias son de aproximadamente 5 cm.
- **Emplear una sensibilidad de 2  $\mu\text{V}/\text{mm}$  en la mayor parte del registro.**
- Usar constantes de tiempo de 0,3 o 0,4 s en la mayor parte del registro.
- Empleo de técnicas poligráficas: Se deben utilizar para detectar potenciales extracerebrales en el registro y distinguir las señales bioeléctricas de otros artefactos del paciente o el ambiente. En un canal se obtiene el ECG. Se emplea además otro canal para registrar la señal procedente de dos electrodos que se colocan en el dorso de la mano derecha, separados entre sí por 6 cm, lo que permite controlar el ruido inducido por la actividad electromiográfica y diferenciar los artefactos procedentes del enfermo de los inducidos por el medio que le rodea. Si se sospecha de artefactos por el respirador, se puede registrar un canal de respiración torácica por la técnica habitual, o detener el ventilador por unos segundos. Algunos autores registran las fases de la ventilación colocando un puente de Wheatstone con resistencia variable en la luz de la cánula endotraqueal. El ECG contamina más de la mitad de los registros con un silencio eléctrico cerebral y la amplitud relativa de sus diferentes componentes (onda P, complejo QRS y onda T) puede registrarse de forma distorsionada en la superficie craneal, debido a varios factores, como la presencia de infarto o isquemia miocárdica, por la posición de la cabeza con respecto al cuerpo y por el tipo de montaje empleado para el EEG. Así por ejemplo, en ocasiones la onda T es más prominente que el complejo QRS en el registro electroencefalográfico. También es posible observar movimientos sincrónicos del cuerpo con los latidos cardíacos (balistocardiograma), los cuales pueden semejar actividad cortical en el EEG.
- Prueba de reactividad del EEG a estímulos intensos. Deben aplicarse estímulos sonoros, luminosos y dolorosos intensos. La ausencia de respuesta corrobora la presencia de un SEC. Otros autores emplean como estimulación una aspiración endotraqueal vigorosa.
- Registro durante 30 minutos. Esta duración del registro obedece a la posibilidad de aparición de los denominados "trazados alternantes" que suelen presentarse en diversas afecciones del sistema nervioso (intoxicaciones, encefalopatías, coma profundo, etc.), y que se refieren a la alternancia de períodos de actividad cortical con etapas de registro isoelectrico, las cuales pueden durar

hasta 20 minutos. De modo que un registro de corta de duración pudiera coincidir con el período de trazado isoelectrico y dar como consecuencia un falso positivo de SEC.

- **Registro realizado por un técnico calificado.** El registro debe ser realizado por un técnico en EEG, con experiencia en esta tarea en las unidades de terapia intensiva, quien debe trabajar bajo la supervisión de un neurólogo, adecuadamente capacitado en electroencefalografía.
- **Repetir el registro si hay dudas.** Siempre que el resultado del estudio no sea concluyente, no se debe dudar en repetirlo en un intervalo de tiempo de, por ejemplo, seis horas.
- No utilizar transmisiones telefónicas del EEG.
- Entre los montajes propuestos del EEG, tanto monopolares como bipolares se pueden utilizar:
  - ⊕ Fp2-C4, C4-O2, Fp1-C3, C3-O1, T4-Cz, T3-Cz
  - ⊕ F8-T6, T6-T5, T5-F7, F7-F8, F4-P4, F3-P3
  - ⊕ F4-A1, C4-A1, O2-A1, F3-A2, C3-A2, O1-A2
  - ⊕ Fp2-Cz, F8-Cz, T6-Cz, Fp1-Cz, F7-Cz, T5-Cz
  - ⊕ Fp2-T4, T4-O2, Fp1-T3, T3-O1, P4-A1, P3-A2

## ***Electroencefalograma cuantitativo***

### **Consideraciones preliminares**

A partir del EEG convencional digitalizado son extraídos un gran número de rasgos por medio de algoritmos computadorizados. Cada uno de los rasgos se evalúa estadísticamente en relación a la distribución de valores de los mismos rasgos de una gran base de datos normativos según edad, sexo y estado funcional.

Existen variantes de este método de análisis:

- Variables directas: como la amplitud en un tiempo dado.
- Variables transformadas en el dominio de la frecuencia
- Variables que resultan de un test estadístico aplicado a un rasgo del EEG y se representan en forma de mapa probabilística

Los modelos que resultan de realizar el análisis cuantitativo del EEG o EEG cuantitativo (EEGq) en el dominio de la frecuencia se obtienen a partir de la conversión de la actividad eléctrica cerebral de un gráfico en el dominio del tiempo, mediante el procesamiento de señales con la transformada rápida de Fourier (FFT), que permite descomponer el EEG en sus componentes de frecuencia y a simultáneamente medir la energía de cada uno de ellos.

Estos modelos pueden representar los parámetros mediante mapas –de ahí el nombre mapeo cerebral- que disminuyen el nivel de abstracción requerido para analizar e interpretar la distribución de valores en el espacio. Esto se logra trasladando al plano puramente perceptual visual, de gran resolución espacial, funciones nerviosas superiores, que son complejas y abstractas. A la vez, relaciona la interpretación de la información contenida en el EEG con la de métodos imagenológicos. Aunque representan aspectos funcionales más que estructurales acerca del estado biológico del cerebro, son un complemento a esas técnicas puramente estructurales. No obstante, debe recordarse que solo son verdaderos los valores que representan los canales utilizados y que el resto son estimaciones o interpolaciones.

### **Indicaciones**

En la actualidad no existe aplicación clínica para el EEGq sin analizar previamente el EEG convencional del que se extrae. Puede ser de utilidad clínica solo en pacientes bien seleccionados sobre la base del cuadro clínico.

Las técnicas del EEGq son consideradas opciones posiblemente útiles en:

- La epilepsia: para el análisis topográfico de voltaje y de dipolos.
- Tumores cerebrales.
- Enfermedades cerebrovasculares: en manos experimentadas para evaluar determinados pacientes en los cuales los estudios de neuroimágenes y EEG convencional no son concluyentes.
- Encefalopatía y coma: en ocasiones el análisis de frecuencias puede complementar el EEG convencional cuando el diagnóstico queda sin resolver después de una evaluación clínica.

### **Orientaciones**

- El trazado del EEG convencional siempre debe ser interpretado antes del análisis cuantitativo.
- Seleccionar un conjunto de segmentos del EEG convencional que caractericen la actividad de base durante un estado funcional cerebral particular en el sujeto de estudio.
- La selección de los segmentos se realiza por un personal entrenado en reconocer patrones de EEG convencional, con conocimiento adicional acerca del EEGq.
- Evitar la inclusión de puntos no estacionarios, o sea, artefactos, paroxismos o cambios del estado funcional.
- Utilizar los modelos poder absoluto, poder relativo, asimetría de energía, coherencia, frecuencia dominante, entre otros, de acuerdo a las normas nacionales de la Red Nacional de Laboratorios de Neurofisiología Clínica.

## Bibliografía

1. Niedermeyer E, Lopes da Silva F. Electroencephalography. Basic principles, clinical applications and related fields. 4th ed. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore. 1999.
2. Morillo LE. Análisis visual del Electroencefalograma. En: Guía Neurológica 7: Neurofisiología. Neuro Electro Diagnóstico. 1 ed. Bogotá. 2005. Disponible en: [http://acnweb.org/pub/guia\\_7.htm](http://acnweb.org/pub/guia_7.htm)
3. Kellaway P. Orderly Approach to Visual Analysis: Elements of the Normal EEG and Their Characteristics in Children and Adults. En: Ebersole JS, Pedley TA, eds. Current Practice of Clinical Electroencephalography, 3rd edition. Lippincott, Williams, & Wilkins, 2003:100-159.
4. Tejeiro Martínez J. EEG normal. Disponible en: [www.viguera.com/pdf/muestra/8485424557.pdf](http://www.viguera.com/pdf/muestra/8485424557.pdf)
5. Comisión Nacional para el diagnóstico de la Muerte. Lineamientos para el diagnóstico de la muerte encefálica en Cuba. Disponible en: [www.sld.cu/libros/libros/libro4/bd-foru2.pdf](http://www.sld.cu/libros/libros/libro4/bd-foru2.pdf)