

Conceptos básicos del electroencefalograma cuantitativo (qEEG)

Basic concepts of quantitative electroencephalography (qEEG).

Víctor Hugco Córdova Pluma,¹ Rodolfo Palencia Díaz,² Rodolfo de Jesús Palencia Vizcarra,³ Paulo Ponzanelli Esteve,⁴ Víctor Zabaneh Campos,⁵ José Enrique Cruz Aranda⁶

Resumen

ANTECEDENTES: La electroencefalografía cuantitativa es una evolución del electrocardiograma convencional que para cuantificar la actividad eléctrica cerebral aplica análisis matemáticos avanzados y bases normativas. Esta técnica transforma señales cerebrales en datos objetivos y reproducibles, en trastornos neuropsiquiátricos mejora la precisión diagnóstica, como en el trastorno por déficit de atención e hiperactividad, epilepsia, enfermedad de Alzheimer y evento vascular cerebral.

OBJETIVO: Mostrar la evidencia actual referente a los fundamentos, utilidad, proyecciones y limitaciones de la electroencefalografía cuantitativa.

METODOLOGÍA: Estudio retrospectivo efectuado con base en una búsqueda simple en la base de datos de PubMed con los términos MeSH: Quantitative electroencephalography (qEEG); Functional neuroimaging; Brain electrical activity.

RESULTADOS: Se obtuvieron 55 artículos que comprenden las referencias bibliográficas de la búsqueda.

CONCLUSIONES: La electroencefalografía cuantitativa aporta ventajas frente a métodos tradicionales por su bajo costo, mayor sensibilidad y ausencia de radiación. Tiene limitaciones en cuanto a: variabilidad interindividual, artefactos técnicos, necesidad de interpretación especializada y bases normativas no siempre representativas. Si bien no sustituye la evaluación clínica, representa una posibilidad complementaria poderosa que favorece un enfoque diagnóstico personalizado y predictivo, con gran potencial en neurología, psiquiatría e investigación traslacional.

PALABRAS CLAVE: Electroencefalografía; neuroimagen funcional; mapeo cerebral; enfermedades neurodegenerativas.

Abstract

BACKGROUND: Quantitative electroencephalography (qEEG) is an evolution of the conventional electrocardiogram (ECG) that uses advanced mathematical analysis and normative bases to quantify brain electrical activity. This technique converts brain signals into objective, reproducible data, thereby improving the accuracy of diagnoses of neuropsychiatric disorders such as attention deficit hyperactivity disorder, epilepsy, Alzheimer's disease, and stroke.

OBJECTIVE: To present the current evidence regarding the fundamentals, usefulness, projections, and limitations of quantitative electroencephalography.

METHODOLOGY: A retrospective study based on a simple PubMed database search using the MeSH terms: Quantitative Electroencephalography (qEEG), functional neuroimaging, and brain electrical activity.

RESULTS: Fifty-five articles were obtained from the bibliographic references of the search.

¹ Médico internista, Unidad de Neurociencias, Hospital Ángeles México, Departamento de Medicina Interna, Hospital Ángeles Pedregal, Ciudad de México.

² Médico internista, Hospital de Especialidades, Centro Médico de Occidente, IMSS, Guadalajara, Jalisco.

³ Médico internista titular de la Clínica de Neurociencias NBT-Plexus, Guadalajara, Jalisco.

⁴ Médico pasante del servicio social, Universidad Anáhuac México, Instituto Anáhuac de Salud Pública.

⁵ Médico pasante del servicio social, Universidad Anáhuac México, sede Hospital Ángeles Pedregal, Ciudad de México.

⁶ Médico internista y geriatra, profesor de asignatura, Facultad de Medicina UNAM, Ciudad de México.

ORCID

<https://orcid.org/0009-0000-6105-3980>
<https://orcid.org/0000-0003-4978-9930>

Recibido: 30 de enero 2026

Aceptado: 5 de febrero 2026

Correspondencia

Víctor Hugco Córdova Pluma
vhcordova@huggocordova.org

Este artículo debe citarse como: Córdova-Pluma VH, Palencia-Díaz R, Palencia-Vizcarra RJ, Ponzanelli-Esteve P, Zabaneh-Campos V, Cruz-Aranda JE. Conceptos básicos del electroencefalograma cuantitativo (qEEG). Med Int Méx; 2026; 42: e11004.

NUEVO

Tiazopir[®]

menos dosis, mayor acción

Dexrabeprazol es el isómero R+ de Rabeprazol

Es un inhibidor de la bomba de protones (inhibición específica de la enzima H⁺K⁺ATPasa)



- Úlcera gástrica
- Úlcera duodenal activa
- Enfermedad por reflujo gastroesofágico (ERGE) sintomática erosiva o ulcerativa ⁽¹⁾

Dosis:
1 tableta de liberación retardada de 10 mg

1 vez al día

TIAZO-01A-24

NO. DE ENTRADA: 2511032002C00002

BIBLIOGRAFÍA:

1. Abdo-Francis JM, Cabrera-Álvarez G, Martínez-Torres H, Remes-Troche JM. Efficacy and safety comparative study of dexrabeprazole vs. esomeprazole for the treatment of gastroesophageal reflux disease. *Gac Med Mex.* 2022;158(6):423-429. English. doi: 10.24875/GMM.M22000722. PMID: 36657136
2. Pai V, Pai N. Randomized, double-blind, comparative study of dexrabeprazole 10 mg versus rabeprazole 20 mg in the treatment of gastroesophageal reflux disease. *World J Gastroenterol.* 2007 Aug 14;13(30):4100-2. doi: 10.3748/wjgv13.30.4100. PMID: 17696229; PMCID: PMC4205312.

Revisar IPP:



Cetus[®]

Senosiain[®]

CONCLUSIONS: Quantitative electroencephalography (qEEG) has advantages over traditional methods, including low cost, greater sensitivity, and an absence of radiation. However, it has limitations in terms of interindividual variability, technical artifacts, the need for specialized interpretation, and normative bases that are not always representative. While it does not replace clinical evaluation, qEEG is a powerful complementary option that favors a personalized, predictive diagnostic approach with great potential in neurology, psychiatry, and translational research.

KEYWORDS: Electroencephalography; Functional neuroimaging; Brain mapping; Neurodegenerative diseases.

ANTECEDENTES

La electroencefalografía ha evolucionado de manera muy significativa hasta consolidarse en un método de alto potencial de aplicación clínica que facilita el análisis de datos cuantitativos. El primer registro de un electroencefalograma lo hizo el psiquiatra alemán Hans Berger (1929) quien estableció las bases de la electrofisiología cerebral. Si bien su trabajo estaba limitado al análisis temporal, inspiró posteriormente la incorporación del análisis de frecuencias para una mejor comprensión e interpretación de las señales cerebrales.

En el decenio de 1970, la tecnología de la computación permitió la capacidad para analizar, almacenar datos y transformar el electroencefalograma análogo en digital. Diez años después surgió el electroencefalograma cuantitativo, gracias al trabajo del neurocientífico E Roy John, quien destacó en el desarrollo de la neurometría y análisis estadístico comparativo utilizando bases de datos normativas; con ello logró un enfoque objetivo y reproducible. En el decenio de 1990 surgió la necesidad de establecer estándares formales para facilitar el análisis espectral y mejorar la reproducibilidad de los electroen-

cefalogramas. En 1997 Marc Nuwer definió el electroencefalograma digital, que facilitó una mejor selección de características significativas e interpretaciones con mayor precisión y el control de la sensibilidad de los parámetros. Este mismo investigador propuso el concepto de electroencefalograma cuantitativo, consistente en el registro de señales digitales del electroencefalograma que se procesan, transforman y analizan mediante algoritmos matemáticos complejos.¹

En el siglo XXI los avances han destacado en el análisis espectral, donde se analizan las frecuencias cerebrales delta, teta, alfa y beta; se introducen métricas de conectividad y el uso de LORETA para mapear las zonas corticales con mayor actividad eléctrica por medio del electroencefalograma.

La electroencefalografía cuantitativa propone nuevos panoramas para el diagnóstico y tamizaje de diversas afecciones neuropsiquiátricas: trastorno por déficit de atención e hiperactividad, enfermedad de Alzheimer, evento vascular cerebral, epilepsia, entre otras. El análisis cuantitativo de la actividad cerebral en pacientes que están efectuando una tarea específica, combinada con estudios de imagen

como la imagen de resonancia magnética muestra áreas cerebrales específicas, en donde pueden evidenciarse características de cada enfermedad estudiada.²

Fundamentos del electroencefalograma cuantitativo

La naturaleza cuantitativa (q) del electroencefalograma cuantitativo representa una técnica avanzada que utiliza el procesamiento matemático computacional para el análisis de las señales del electroencefalograma convencional, lo que permite una evaluación objetiva y cuantitativa de la actividad eléctrica cerebral. El electroencefalograma cuantitativo utiliza algoritmos para extraer parámetros específicos: potencia espectral, concordancia, comodulación, coherencia, asimetría, razón, relaciones entre bandas de frecuencia (teta-beta, teta-alfa), índice de reactividad, fase y amplitud.

¿Por qué electroencefalograma cuantitativo y no electroencefalograma convencional?

El electroencefalograma cuantitativo, aparte de proporcionar evidencia y registro de las ondas cerebrales, utiliza sistemas matemáticos para el análisis de los datos obtenidos. Esto resulta en una mejora en la precisión diagnóstica, al transformar patrones visuales subjetivos en valores numéricos lo que, a su vez, disminuye la variabilidad entre observadores. Las mediciones y análisis son objetivos y, al contar con una base de datos comparativa, el estudio adquiere mayor sensibilidad. El electroencefalograma cuantitativo es capaz de identificar patrones de conectividad, microestados y anomalías subclínicas, con ello complementa métodos subjetivos utilizados en: depresión, ansiedad, epilepsia, trastorno por déficit de atención e hiperactividad, enfermedad de Alzheimer y evento vascular cerebral. Además, hace posible la visualización de lesiones cerebrales traumáticas leves y neurodegeneración temprana. Permite el monitoreo

continuo de la dinámica cerebral durante la ejecución de tareas cognitivas y en pacientes en unidades de cuidados intensivos.

El electroencefalograma cuantitativo facilita la administración de fármacos con predicción de respuesta terapéutica, manifestada en cambios en la potencia beta o teta luego de la administración de estimulantes. Además, utiliza la neuroretroalimentación para corregir desviaciones en los patrones cerebrales y, mediante el aprendizaje automático, permite clasificar subtipos neuropsiquiátricos de diversas afecciones, lo que conduce a una medicina sumamente personalizada. En comparación con los estudios de imagen, su costo es más económico, con mayor espectro en el análisis de los resultados para la identificación, estadificación y propuesta terapéutica en padecimientos neuropsiquiátricos. Además, facilita los estudios de plasticidad cerebral, conectividad neuronal y diferencias asociadas con edad o sexo.^{3,4,5}

Desarrollo

La base fundamental del electroencefalograma es el análisis de datos a través de la recolección de transmisiones eléctricas cerebrales captadas por electrodos transcraneales situados en ubicaciones estandarizadas. La descomposición espectral de la señal cerebral se lleva a cabo mediante diversos algoritmos en donde destaca la transformada rápida de Fourier. Este algoritmo descompone datos en forma de ondas y los transfiere a frecuencia y amplitud y los utiliza para analizar espectros de señales cerebrales y generar paneles del electroencefalograma. La transformación de ondas en frecuencia, medida en Hz, es el origen de las bandas.

La transformada Wavelet es otro algoritmo que captura cambios en frecuencia rápida y analiza señales en múltiples escalas de tiempo; se utiliza, sobre todo, para el análisis de electroencefalograma dinámico. Finalmente, la transformada

de Hilbert examina la relación entre tiempo y frecuencia y complementa el análisis basado en ondas y genera una representación analítica de frecuencia y fase de ondas cerebrales.^{6,7}

Bandas de frecuencia

Las ondas delta (δ) varían entre 0.5 a 4 Hz, aunque algunos autores proponen rangos de 1 a 3 o 1 a 4.^{8,9} Predominan durante la fase de sueño profundo y se vinculan con la hipoactividad cortical, como la observada en el tejido isquémico.^{10,11} Diversos estudios han reportado un incremento en la actividad de ondas delta en situaciones de delirio y dislexia fonológica.^{2,7} En pacientes en estados de coma se ha documentado una correlación negativa entre la potencia de las bandas delta y el puntaje en la Escala de Recuperación de Coma.¹² Por el contrario, una disminución en las ondas delta se ha asociado con fibromialgia.⁹

Las ondas teta (θ) poseen un rango de 4 a 8 Hz.^{8,13,14,15} Se distinguen por predominar en estados de agitación emocional, en el proceso creativo, en la actividad imaginativa y durante el descanso posterior al ejercicio físico.¹⁰ En el trastorno por déficit de atención e hiperactividad, estas ondas muestran una disminución. Se han observado con niveles elevados en delirio⁷ en el lóbulo frontal izquierdo de pacientes con deficiencias en la codificación de la memoria;¹⁶ su existencia podría indicar cambios incipientes en la enfermedad de Alzheimer.

Respecto a las alteraciones en el tiempo relativo de la frecuencia, se ha detectado un incremento significativo en pacientes con enfermedad de Parkinson. Las ondas alfa (α) van de 8 a 13 Hz.^{9,14} Su generación se asocia con estados de reposo, relajación y meditación, así como en estados de desvelo.^{10,17,18} En el delirio se ha observado una disminución de estas ondas, sobre todo en las regiones occipitales y parietales¹⁷ y en el síndrome de enclaustramiento.¹² En el trastorno por

déficit de atención e hiperactividad se observa un incremento en las ondas alfa, específicamente en el subgrupo caracterizado por este aumento, que puede coexistir con depresión y desregulación emocional.⁸ Una alta frecuencia de estas ondas se correlaciona con dificultades para la concentración¹⁹ y puede coexistir en pacientes con migraña.¹³ Además, existe una correlación positiva entre las ondas alfa y la puntuación en la Escala de Recuperación de Coma.¹² Las ondas beta (β) tienen una variación entre 13 a 25 Hz (12) o 13 a 30 Hz.^{6,17,20} La producción de estas ondas ocurre cuando el paciente se enfoca en una tarea y se correlacionan con una actividad neuronal elevada en donde destaca el pensamiento crítico y lógico.^{18,21} Estas ondas denotan un estado de activación en la red neuronal y pueden considerarse un indicador del nivel de excitación cortical.²² En pacientes con delirio, síntomas de trastorno por déficit de atención e hiperactividad, depresión y habilidades cognitivas disminuidas se ha observado una reducción en la medición de estas ondas.^{7,23,24,25} En pacientes con trastornos de memoria, como la falla en la codificación, estas ondas se encuentran significativamente disminuidas en diversas regiones cerebrales en comparación con individuos sanos.²⁶ En pacientes con fibromialgia,⁹ con mayor excitación nerviosa, estrés o ansiedad se ha reportado un incremento en la actividad en estas ondas.¹⁸ En pacientes con trastorno depresivo mayor, niveles elevados de ondas β éstas se han vinculado con un funcionamiento ejecutivo deteriorado.^{17,27}

Las ondas gamma (γ) tienen frecuencias superiores a 25 o 30 Hz.^{8,28} Se asocian con la actividad cognitiva y constituyen la onda predominante durante la fase REM del sueño.¹⁰ Las ondas γ desempeñan un papel decisivo en el aprendizaje de actividades motoras: percepción de acoplamiento, que se refiere a la capacidad de coordinar la percepción del paciente con la acción ejecutada en función de dicha percepción, en el contexto de la interacción con el entorno.²⁸ **Figura 1**

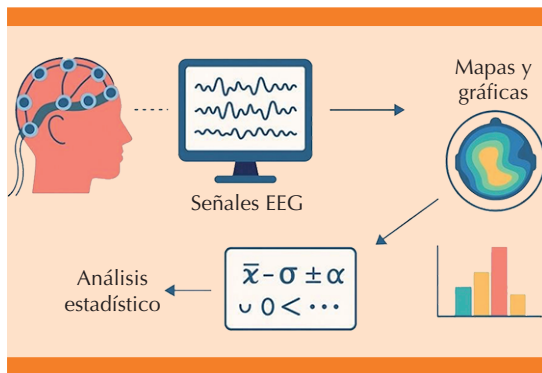


Figura 1. Representación virtual del proceso de información cuantitativa, en donde las “señales del encefalograma” se interpretan como las bandas de frecuencia.

Diagrama 1. Diagrama conceptual de electroencefalografía cuantitativa. Elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial (ChatGPT/DALL-E, OpenAI, 2025).

Una vez obtenidas las bandas de frecuencia su información se procesa para tener una representación de datos avanzada.

Modelos de análisis cuantitativo

El electroencefalograma de amplitud integrada es un método cuantitativo que representa el tiempo en el eje de las x y la amplitud logarítmica en el eje de las y.²⁹ Este método evalúa la variabilidad de las amplitudes máximas y mínimas durante lapsos de 1 a 2 segundos, con un filtrado de 2 a 20 Hz para cada hemisferio.³⁰ Este encefalograma muestra un trazo en tiempo comprimido que permite la visualización de la actividad electroencefalográfica.³¹ Se indica para la detección de convulsiones,³² vasoespasmos, evaluación de la profundidad de sedación y como método pronóstico postparo cardiaco,³³ además de ser útil para el seguimiento de pacientes en unidades de cuidados intensivos y neonatales.²⁹

El espectrograma de asimetría muestra el tiempo y la frecuencia en los mismos ejes que la amplitud integrada. Su función principal es comparar los canales de los hemisferios cerebrales izquier-

do y derecho en distintas frecuencias.^{30,32} Se emplea, fundamentalmente, para la detección de disfunciones cerebrales lateralizadas, para convulsiones focales o alteraciones en la perfusión cerebral.^{29,30} En pacientes pediátricos, este instrumento es útil para comprender la repercusión de un evento vascular cerebral en la actividad eléctrica cerebral y las diferencias entre regiones afectadas y no afectadas.³⁴ A partir de esta diferenciación hemisférica es posible calcular el Índice de Simetría Cerebral, que resulta de gran utilidad para descartar o confirmar cambios corticales relacionados con lesiones cerebrales focales.¹¹

Otra técnica avanzada de procesamiento de información es la matriz espectral comprimida que, utilizando la transformada rápida de Fourier, representa en colores la amplitud²/Hz en tiempo comprimido. Esta técnica se aplica, clínicamente, en el monitoreo del estado de coma.^{31,35} Para evaluar la conectividad funcional en los pacientes, se emplea el análisis de coherencia, que utiliza la asimilación de datos para verificar que las ondas cerebrales durante la ejecución de una tarea sean las esperadas.²⁸ El análisis del espectro de potencia cuantifica el poder de cada banda de frecuencia, que es directamente proporcional a la amplitud de onda y al voltaje. Evalúa cambios significativos en variables de interés mediante la asimilación de datos.^{11,22,36}

El mapeo de la actividad eléctrica cerebral constituye un método complementario que aporta información topográfica de la actividad eléctrica encefálica. Este método busca ampliar la utilidad clínica del electroencefalograma, de los datos de potenciales evocados al permitir la identificación de patrones en diversas enfermedades que resultan casi imperceptibles en un electroencefalograma convencional.³⁷ Genera un mapa con la distribución espacial de la potencia dentro de bandas de frecuencia específicas y de la amplitud de potenciales evocados; para ello emplea una escala de colores para indicar los niveles de

intensidad. Ofrece una perspectiva global de la actividad eléctrica cerebral y encuentra patrones asociados con la enfermedad de Alzheimer y la demencia multiinfarto.^{38,39}

Enseguida de la integración de bandas de frecuencia y el análisis de la información, los datos pueden ser objeto de análisis estadístico. La selección del modelo matemático-estadístico apropiado dependerá de los objetivos de estudio específico en cada paciente

La asimilación de datos constituye un modelo predictivo que utiliza información previa y nuevas observaciones para obtener una representación precisa de un fenómeno de interés y su evolución temporal. Este modelo se ha aplicado en diversas disciplinas: geociencias, meteorología, oceanografía, geomecánica y agricultura, entre otras.²⁸ El reconocimiento de patrones estadísticos es un modelo automatizado que analiza datos, identifica patrones y los clasifica mediante ecuaciones estadísticas. En el ámbito del electroencefalograma cuantitativo, su función principal es diferenciar subtipos de demencias.^{35,38} Otro modelo es la inferencia bayesiana, que se utiliza para comprender relaciones complejas a lo largo del tiempo, proporciona un marco probabilístico para la estimación. En el electroencefalograma cuantitativo este enfoque permite al investigador estimar la probabilidad de distribución de las respuestas neuronales, lo que deriva en la obtención de resultados más precisos.⁴⁰

El *log-spectra* emplea el logaritmo del espectro de potencia del electroencefalograma cuantitativo y con ello facilita la visualización nítida de las frecuencias bajas y altas. Esto es de gran utilidad para acentuar patrones de actividad cerebral a través de diversas frecuencias, permitir la detección de cambios sutiles que, de otro modo, podrían pasar inadvertidos.⁴¹ En el ámbito del electroencefalograma cuantitativo capacita al investigador para discernir ritmos predominan-

tes, examinar estados cerebrales y evaluar los efectos farmacológicos de la actividad cerebral.²²

La matriz espectral cruzada es un método que facilita la comprensión de la interconexión y comunicación entre diversas regiones cerebrales. Permite la elaboración de mapas basados en la conectividad funcional, lo que hace posible la visualización de la variación conjunta de diferentes áreas cerebrales en frecuencias específicas.^{17,42}

La geometría espectral transforma el espectro de potencia del electroencefalograma cuantitativo en una figura matemática de alta dimensión, agrupa patrones de actividad cerebral similares en configuraciones análogas y en espacios contiguos. Esto permite la identificación de distintos estados cerebrales, la detección de anomalías y un estudio general de las dinámicas de la actividad cerebral.^{41,43} **Figura 2**

Aplicaciones clínicas y ventajas del electroencefalograma cuantitativo

El electroencefalograma cuantitativo ha transformado la comprensión encefálica al ofrecer nuevas posibilidades para superar limitaciones informativas. Mediante el mapeo de la actividad eléctrica cerebral se logra una neuroanatomía funcional que permite al clínico adquirir más datos que la resonancia magnética más avanzada, sin exponer al paciente a radiación. Sus usos son extensos.

Su aplicación sobresale en la evaluación, diagnóstico y tratamiento de trastornos neuropsiquiátricos, incluidos los originados por abuso de sustancias, trastorno obsesivo-compulsivo, depresión y esquizofrenia.^{8,37,44} En casos de trastorno por déficit de atención e hiperactividad permite la comprensión de la neurofisiología, la categorización en subgrupos y la personalización de tratamientos. La relación teta-beta y el acoplamiento fase teta-amplitud gamma se

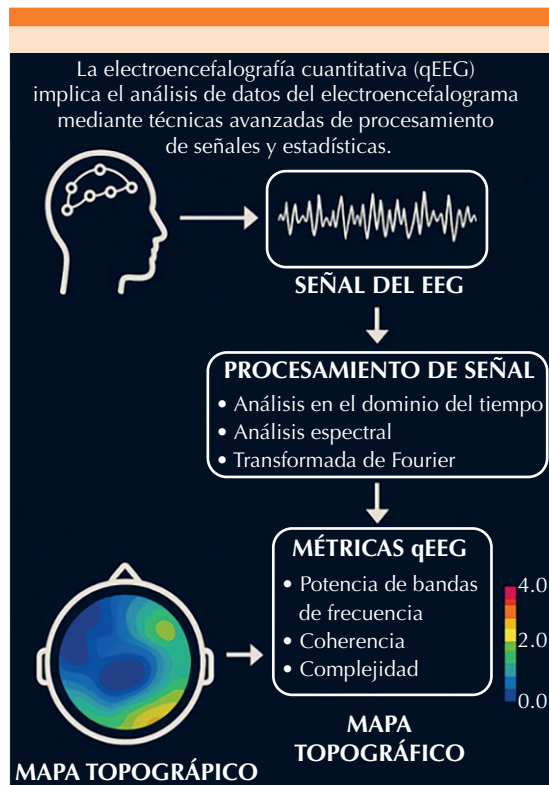


Figura 2. Diagrama conceptual de electroencefalografía cuantitativa.

Elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial (ChatGPT/DALL-E, OpenAI, 2025).

expresan como biomarcadores de utilidad.⁴⁵ La neuroretroalimentación del electroencefalograma cuantitativo, fundamentado en puntuaciones Z, ha evidenciado una mejoría en funciones ejecutivas, comportamiento y atención, en contraste con tratamientos con metilfenidato.⁵ El trastorno de ansiedad generalizada se ha asociado con bajas amplitudes de onda del ritmo sensoriomotor y altas amplitudes de onda beta 2, lo que puede relacionarse con un patrón de mayor actividad alfa frontal derecha. Permite establecer un diagnóstico preliminar de disfunción y vigilar los cambios derivados del tratamiento.^{10,37}

En pacientes epilépticos no solo puede alcanzarse un diagnóstico rápido, sino que también

contribuye a una identificación más precisa de los distintos subtipos.^{20,46} Además, permite evaluar la respuesta al tratamiento antiepiléptico y funciona como método de tamizaje para identificar picos o crisis convulsivas en pacientes internados en unidades de cuidados intensivos.^{1,31,47}

En pacientes con un evento vascular cerebral se utiliza para evaluar los síntomas, identificar alteraciones sutiles en la arquitectura neurológica, detectar áreas de isquemia,^{29,36,43} predecir zonas de vasoespasmos e isquemia cerebral subsiguiente a una hemorragia subaracnoidea y para establecer un pronóstico en evento vascular cerebral subagudo.^{11,37} Además, contribuye a una mejor comprensión y seguimiento del evento vascular cerebral en la población pediátrica.³⁴ Se ha observado que una densidad espectral de potencia reducida, en un electroencefalograma cuantitativo temprano, se correlaciona con un riesgo incrementado de convulsiones futuras y una lesión cerebral más grave, visualizada mediante resonancia magnética, en neonatos con encefalopatía hipóxico-isquémica.²⁹

En pacientes con alto riesgo de evento vascular cerebral isquémico, hemorragia intracraneal subaguda, vasoespasmos e hipertensión intracraneal aguda se recomienda efectuar el monitoreo en la unidad de cuidados intensivos. Puede proporcionar información más rápida que el electroencefalograma convencional y tiene la capacidad de detectar, tempranamente, la herniación cerebral.^{30,48}

En el ámbito de las demencias, el electroencefalograma cuantitativo se utiliza para valorar la gravedad de la afección, establecer un diagnóstico preciso y hacer posible un análisis diferencial entre la enfermedad de Alzheimer, la enfermedad por cuerpos de Lewy, la enfermedad de Parkinson, la demencia frontotemporal y la demencia vascular.^{1, 5, 20,38} En la enfermedad de Alzheimer es posible identificar casos con dete-

rioro cognitivo leve, lo que sirve de biomarcador y factor pronóstico en esos pacientes.²⁰ Numerosos estudios prospectivos han demostrado el potencial del electroencefalograma cuantitativo para mejorar el diagnóstico y el pronóstico de la enfermedad. Sin embargo, la consistencia del electroencefalograma cuantitativo en la detección de cambios neuropatológicos específicos en la tomografía por emisión de positrones con tomografía computada y del LCR debe evaluarse en pacientes con enfermedad de Alzheimer preclínicos y clínicos para obtener mediciones de electroencefalograma cuantitativo fiables y robustas que permitan evaluar la demencia a nivel individual. Además, el electroencefalograma cuantitativo se utiliza como biomarcador del estado cognitivo en individuos con angiopatía amiloide cerebral.²⁰ En el contexto del traumatismo craneoencefálico, este método puede emplearse para la detección y seguimiento de pacientes⁴⁷ debido a su superioridad respecto de la Escala de Coma de Glasgow.¹⁸ Facilita la diferenciación entre traumatismos agudos y moderados. La retroalimentación neuronal ha evidenciado su eficacia en la mejora de funciones cognitivas, conducta y disfunción física.⁵

Ventajas

Entre las ventajas de esta herramienta está la eliminación de la variabilidad en las interpretaciones de los evaluadores porque aplica sistemas matemáticos cuantitativos.^{35,49} La información analizada por el electroencefalograma cuantitativo se compara con bases de datos normativas de pacientes sanos de la misma edad, lo que ofrece un punto de referencia objetivo para la detección de anomalías. Mide la actividad eléctrica cerebral en milisegundos, capacidad no disponible en una resonancia magnética.⁵⁰ Además, no solo posee una alta sensibilidad para identificar patrones sutiles de disfunción cerebral, incluso antes de la manifestación de la enfermedad, sino que también constituye un método de menor costo que los estudios de imagen, con mayor

accesibilidad y tolerancia.^{35,50,51} Permite evidenciar la interacción de las conexiones funcionales al conformar un conectoma del paciente y, por último, introduce una perspectiva innovadora en el ámbito de la psiquiatría, donde se ha venido demostrando la utilidad de los biomarcadores.⁵²

Figura 3

Limitaciones de la electroencefalografía cuantitativa

A pesar de los múltiples beneficios que ofrece como posibilidad de evaluación funcional cerebral, el electroencefalograma cuantitativo no está exento de limitaciones. Para evitar errores diagnósticos, sobreinterpretaciones y un uso clínico inadecuado es decisivo reconocer y comprender estos aspectos.

- **Variabilidad y estandarización**
 - El electroencefalograma cuantitativo, si bien busca la objetividad, tiene variabilidad intersujeto, que se ve afectada por la edad, el sexo, la anatomía cerebral y el estado de alerta. La calidad de la adquisición del electroencefalograma es crítica porque ante artefactos o una inadecuada colocación de los electrodos pueden distorsionarse los datos. Aún persisten discrepancias en los equipos, los programas de cómputo y las bases de datos normativas entre los distintos centros, lo que influye en la reproducibilidad de los resultados.
- **Interpretación e inferencias clínicas**
 - El análisis del electroencefalograma cuantitativo requiere conocimientos profundos en neurofisiología y estadística avanzada, por ello solo deben hacerlo profesionales capacitados. Existe riesgo de sobreinterpretar

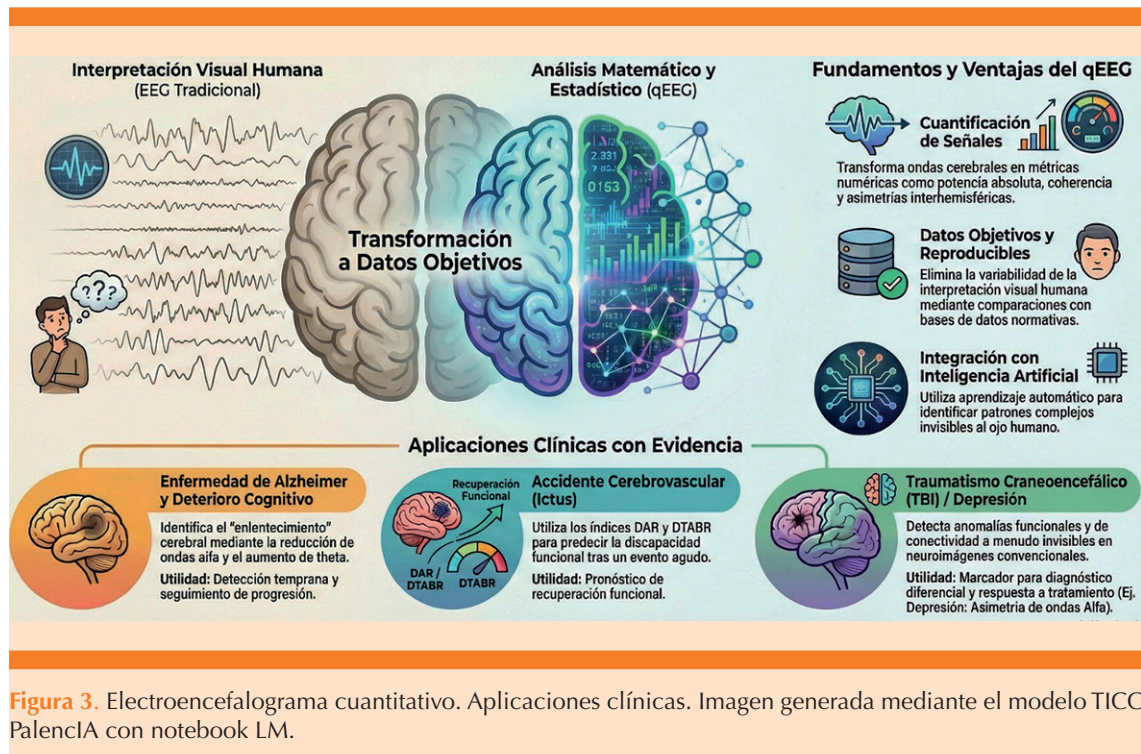


Figura 3. Electroencefalograma cuantitativo. Aplicaciones clínicas. Imagen generada mediante el modelo TICC Palencia con notebook LM.

desviaciones sutiles, carentes de correlación clínica, lo que podría conducir a diagnósticos erróneos. Además, el electroencefalograma cuantitativo carece de especificidad diagnóstica absoluta, identifica disfunciones cerebrales sin discriminar siempre entre afecciones con patrones similares.

- **Limitaciones técnicas y de base de datos**

- El electroencefalograma es sumamente sensible a los artefactos, lo que exige técnicas avanzadas de corrección. Las bases de datos normativas pueden no ser completamente representativas de poblaciones diversas, sobre todo en regiones con acceso limitado a tecnología o con características étnicas poco documentadas.

- **Correlación clínico-patológica limitada**

- El electroencefalograma cuantitativo no sustituye la evaluación clínica integral; es un método complementario que debe integrarse con la anamnesis, exploración física y otros estudios diagnósticos. Si bien detecta patrones de activación cerebral anómala, no revela por sí mismo la causa subyacente ni permite establecer diagnósticos concluyentes de forma aislada.

- **Costo y accesibilidad**

- Si bien es relativamente económico en comparación con otros estudios de neuroimagen, la implementación del electroencefalograma cuantitativo puede verse limitada por el

costo del programa especializado, licencias, la capacitación técnica y la disponibilidad de bases normativas actualizadas, especialmente en centros públicos o regiones con recursos limitados.

CONCLUSIONES

El electroencefalograma cuantitativo es un método vanguardista que integra los aspectos clínicos del paciente con análisis avanzados derivados de las ciencias de la computación; utiliza una base de datos normativa, globalmente estandarizada y técnicas de aprendizaje automático. Facilita una sólida convergencia entre diversas especialidades médicas: neurología, neurocirugía, psiquiatría, pediatría, geriatría y campos de la psicología.

El hecho de que sea una técnica no invasiva, que no expone al paciente a radiación, lo hace más seguro y atractivo. Sus resultados objetivos, fundamentados en ciencias matemáticas, eliminan el sesgo del evaluador, características que se traducen en una mayor sensibilidad y fiabilidad del estudio. Durante muchas décadas, el médico psiquiatra dependió de escalas de valoración y cuestionarios, estudios de imagen y, en algunas situaciones, en el electroencefalograma convencional. En la actualidad los diagnósticos no solo pueden ser más precisos sino con mayor eficacia, con diagnósticos diferenciales que permiten la clasificación en subtipos de enfermedades: depresión, ansiedad y el trastorno por déficit de atención e hiperactividad. Así, los tratamientos pueden individualizarse para cada paciente, con una representación visual directa de su actividad cerebral en formato de mapa.

Esta tecnología está destinada a transformar la medicina tal como hoy se conoce, similar a como sucedió con Leeuwenhoek con el microscopio. Abre un nuevo paradigma de investigación en

el que, a partir de la representación visual de la actividad eléctrica cerebral, el especialista podrá establecer correlaciones con prácticamente cualquier enfermedad, lo que eventualmente conducirá al desarrollo de bases de datos de patrones de actividad cerebral asociados con diversas enfermedades.

DECLARACIONES

Los autores declaran no tener conflicto de interés

Los autores declaran que las figuras fueron generadas con Inteligencia artificial Chat GPT y modelo TICC Palencia con notebook LM

Los autores declaran no recibir financiamiento de algún patrocinador.

REFERENCIAS

1. Popa LL, Chira D, Strilciuc S, Mureşanu DF. Non-invasive systems application in traumatic brain injury rehabilitation. *Brain Sciences* 2023; 13 (8). <https://doi.org/10.3390/brainsci13111594>
2. Chiarenza GA. Quantitative EEG in childhood attention deficit hyperactivity disorder and learning disabilities. *Clinical EEG and Neuroscience* 2021; 52 (2): 144-55. <https://doi.org/10.1177/1550059420962343>
3. Galiana-Simal A, Vela-Romero NP, Sánchez-Rodríguez P, Velasco-Rodríguez M. Electroencefalografía cuantitativa como herramienta para el diagnóstico y seguimiento del paciente con trastorno por déficit de atención/hiperactividad. *Revista de Neurología* 2020; 70 (6): 197-205. <http://dx.doi.org/10.33588/rn.7006.2019311>
4. Önnestam K, Nilsson B, Rother M, Rein-Hedin E, et al. Safety, tolerability, pharmacokinetics and quantitative electroencephalography assessment of ACD856, a novel positive allosteric modulator of Trk-receptors following multiple doses in healthy subjects. *J Prevention of Alzheimer's Disease* 2023; 10 (4): 778-89. <https://doi.org/10.14283/jpad.2023.89>
5. Ko J, Park U, Kim D, Kang SW. Quantitative electroencephalogram standardization: A sex- and age-differentiated normative database. *Frontiers in Neuroscience* 2021; 769847. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.766781>
6. Van der Plas MC, Rasing I, Geraedts VJ, Tromp SC, et al. Quantitative electroencephalography in cerebral amyloid angiopathy. *Clinical Neurophysiology* 2024; 164: 111-18. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2024.05.013>
7. Wiegand TLT, Rémi J, Dimitriadis K. Electroencephalography in delirium assessment: A scoping review. *BMC Neurology*

- 2022; 22 (1):86. <https://doi.org/10.1186/s12883-022-02557-w>
8. Bong SH, Kim JW. The role of quantitative electroencephalogram in the diagnosis and subgrouping of attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Korean Academy of Child and Adolescent Psychiatry* 2021; 32 (2): 85-92. <https://doi.org/10.5765/jkacap.210010>
 9. Silva-Passadouro B, Tamasauskas A, Khoja O, Casson AJ, et al. A systematic review of quantitative EEG findings in fibromyalgia, chronic fatigue syndrome and long COVID. *Clinical Neurophysiology* 2024;163:209-222. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2024.04.019>
 10. Kopańska M, Ochojska D, Dejnawicz-Velitchkov A, Banaś-Ząbczyk A. Quantitative electroencephalography (QEEG) as an innovative diagnostic tool in mental disorders. *Int J Environmental Research and Public Health* 2022; 19 (4): 2465. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042465>
 11. Sood I, Injety RJ, Farheen A, Kamali S, et al. Quantitative electroencephalography to assess post-stroke functional disability: A systematic review and meta-analysis. *J Stroke and Cerebrovascular Diseases* 2024; 33 (12): 108032. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2024.108032>
 12. Wutzl B, Golaszewski SM, Leibnitz K, Langthaler PB, et al. Narrative review: Quantitative EEG in disorders of consciousness. *Brain Sciences* 2021; 11 (6): 697. <https://doi.org/10.3390/brainsci11060697>
 13. Kim SJ, Yang K, Kim D. Quantitative electroencephalography as a potential biomarker in migraine. *Brain and Behavior* 2023; 13 (12): e3282. <https://doi.org/10.1002/brb3.3282>
 14. Gu Y, Gagnon JF, Kaminska M. Sleep electroencephalography biomarkers of cognition in obstructive sleep apnea. *J Sleep Research* 2023; 32 (6): e13831. <https://doi.org/10.1111/jsr.13831>
 15. van 't Westende C, Geraedts VJ, van Ramesdonk T, Dudink J, et al. Neonatal quantitative electroencephalography and long-term outcomes: A systematic review. *DMCN* 2022; 64 (4): 413-20. <https://doi.org/10.1111/dmnc.15133>
 16. Kang HT, Kim SW, Youn YC. Differences between memory encoding and retrieval failure in mild cognitive impairment: results from quantitative electroencephalography and magnetic resonance volumetry. *Alzheimer's Research & Therapy* 2021; 13 (1): 3. <https://doi.org/10.1186/s13195-020-00739-7>
 17. Francis AM, Bissonnette JN, Hull KM, Leckey J, et al. Measuring the attention networks and quantitative-electroencephalography correlates of attention in depression. *Psychiatry Res Neuroimaging* 2023; 333: 111661. <https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2023.111661>
 18. Ferraracci J, Anzalone C, Bridges RM, Moore RD, et al. QEEG correlates of cognitive processing speed in children and adolescents with traumatic brain injuries. *Applied Neuropsychology Child* 2021; 10 (3): 247-57. <https://doi.org/10.1080/21622965.2019.1675523>
 19. Kopańska M, Banaś-Ząbczyk A, Łagowska A, Kuduk B, et al. Changes in EEG recordings in COVID-19 patients as a basis for more accurate QEEG diagnostics and EEG neurofeedback therapy: A systematic review. *J Clinical Medicine* 2021; 10 (6): 1300. <https://doi.org/10.3390/jcm10061300>
 20. Wijaya A, Setiawan NA, Ahmad AH, Zakaria R, et al. Electroencephalography and mild cognitive impairment research: A scoping review and bibliometric analysis (ScoRBA). *AIMS Neuroscience* 2023; 10 (2): 154-71. <https://doi.org/10.3934/neuroscience.2023012>
 21. Kopańska M, Rydzik Ł, Błajda J, Sarzyńska I, et al. The use of quantitative electroencephalography (QEEG) to assess post-COVID-19 concentration disorders in professional pilots: an initial concept. *Brain Sciences* 2023; 13 (9): 1264. <https://doi.org/10.3390/brainsci13091264>
 22. Biswas PS, Ram D, Munda SK. Quantitative electroencephalography in patients with depression and epilepsy spectrum disorder and its correlation with clinical features of depression. *East Asian Archives of Psychiatry* 2021; 31 (2): 43-48. <https://doi.org/10.12809/eaap2024>
 23. Kim SB, Bong SH, Lee JH, Choi TY, et al. The usefulness of quantitative electroencephalography in diagnosis and severity evaluation of delirium: a retrospective study. *Psychiatry Investigation* 2023; 20 (2): 144-51. <https://doi.org/10.30773/pi.2022.0294>
 24. Kerasidis H, Simmons J. Quantitative EEG analysis in clinical practice: concussion injury. *Clinical EEG and Neuroscience* 2021; 52 (2): 114-18. <https://doi.org/10.1177/1550059421989112>
 25. Hannawi Y. Quantitative EEG and brain network analyses in patients with early consciousness disorder following acute large hemispheric infarction. *Neurocritical Care* 2020; 33 (1): 360-61. <https://doi.org/10.1007/s12028-020-01067-2>
 26. Novak K, Chase BA, Narayanan J, Indic P, et al. Quantitative electroencephalography as a biomarker for cognitive dysfunction in Parkinson's disease. *Frontiers in Aging Neuroscience* 2022; 13: 804991. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.804991>
 27. Srivastava A, Sanyal S, Jaiswal S, Srivastava S. Meta-analysis on QEEG changes to antidepressant treatment among patients with depression. *Indian J Psychological Medicine* 2024; 02537176241271716. <https://doi.org/10.1177/02537176241271716>
 28. Peralta-Malvárez L, Salazar-Varas R, Etcheverry G, Gutiérrez D. Using data assimilation for quantitative electroencephalography analysis. *Brain Sciences* 2020; 10 (11): 853. <https://doi.org/10.3390/brainsci10110853>
 29. Griffith JL, Tomko ST, Guerriero RM. Continuous electroencephalography monitoring in critically ill infants and children. *Pediatric Neurology* 2020; 108: 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2020.04.009>
 30. Hwang J, Cho SM, Ritzl EK. Recent applications of quantitative electroencephalography in adult intensive care units: A comprehensive review. *J Neurology* 2022; 269 (12): 6290-309. <https://doi.org/10.1007/s00415-022-11337-y>
 31. Rowberry T, Kanthimathinathan HK, George F, Notghi L, et al. Implementation and early evaluation of a quantitative

- electroencephalography program for seizure detection in the PICU. *Pediatric Critical Care Medicine* 2020; 21 (6): 543-49. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000002278>
32. Alkhachroum A, Ganesan SL, Koren JP, Kromm J, et al. Quantitative EEG-based seizure estimation in super-refractory status epilepticus. *Neurocritical Care* 2022; 36 (3): 897-904. <https://doi.org/10.1007/s12028-021-01395-x>
 33. Xue Y, Liu W, Su L, He H, et al. Quantitative electroencephalography predicts postoperative delirium in cardiac surgical patients after cardiopulmonary bypass: A prospective observational study. *Frontiers in Medicine* 2023; 10: 1163247. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1163247>
 34. Appavu BL, Temkit MH, Foldes ST, Burrows BT, et al. Quantitative electroencephalography after pediatric anterior circulation stroke. *J Clinical Neurophysiology* 2022; 39 (7): 610-15. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000813>
 35. Chatzikonstantinou S, McKenna J, Karantali E, Petridis F, et al. Electroencephalogram in dementia with Lewy bodies: A systematic review. *Aging Clin Exp Res* 2021; 33 (5): 1197-208. <https://doi.org/10.1007/s40520-020-01576-2>
 36. Caffarelli M, Karukonda V, Aghaeeval M, McQuillen PS, et al. A quantitative EEG index for the recognition of arterial ischemic stroke in children. *Clinical Neurophysiology* 2023; 156: 113-24. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2023.10.001>
 37. Livinț Popa L, Chira D, Dăbală V, Hapca E, et al. Quantitative EEG as a Biomarker in Evaluating Post-Stroke Depression. *Diagnostics* 2023; 13 (1): 49. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13010049>
 38. Livinț P, Dragoș L, Strilciuc HM, Pantelemon S, et al. Added value of QEEG for the differential diagnosis of common forms of dementia. *Clinical EEG and Neuroscience* 2021; 52 (3): 201-10. <https://doi.org/10.1177/1550059420971122>
 39. Weon HW, Byun YE, Lim HJ, et al. Quantitative EEG (QEEG) analysis of emotional interaction between abusers and victims in intimate partner violence: A pilot study. *Brain Sciences* 2021; 11 (5): 570. <https://doi.org/10.3390/brainsci11050570>
 40. Ma T, Li Y, Huggins JE, Zhu J, et al. Bayesian inferences on neural activity in EEG-based brain-computer interface. *J Am Stat Assoc* 2022; 117 (539): 1122-133. <https://doi.org/10.1080/01621459.2022.2041422>
 41. Li M, Wang Y, López-Naranjo C, Hu S, et al. Harmonized-multinational qEEG norms (HarMNqEEG). *NeuroImage* 2002; 256.: 119190. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.119190>
 42. Anass B. El-Yaagoubi, Shuhao Jiao, Moo K. Chung, Hernando Ombao. Spectral Topological Data Analysis of Brain Signals. arXiv:2401.05343 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.05343>
 43. Chen Y, Wang L, Zhang J, Wang S, et al. Monitoring of patients with brainstem hemorrhage: A simultaneous study of quantitative electroencephalography and transcranial Doppler. *Clinical Neurophysiology* 2021; 132 (4): 946-52. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.12.026>
 44. Turner RP. Clinical application of combined EEG-qEEG functional neuroimaging in the practice of pediatric neuroscience: A personal perspective. *Clinical EEG and Neuroscience* 2021; 52 (2): 126-35. <https://doi.org/10.1177/1550059420982419>
 45. Byeon J, Choi TY, Won GH, Lee J, et al. A novel quantitative electroencephalography subtype with high alpha power in ADHD: ADHD or misdiagnosed ADHD? *PLoS ONE* 2020; 15 (11): e0242566. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242566>
 46. Gavaret, M, Iftimovici A, Pruvost-Robieux E. EEG: Current relevance and promising quantitative analyses. *Revue Neurologique* 2023; 179 (5): 352-60. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2022.12.008>
 47. Veciana de las Heras M, Sala-Padro J, Pedro-Perez J, García-Parra B, et al. Utility of quantitative EEG in neurological emergencies and ICU clinical practice. *Brain Sciences* 2024; 14 (7): 939. <https://doi.org/10.3390/brainsci14090939>
 48. Alsallom F, Casassa C, Akkineni K, Lin L. Early detection of cerebral herniation by continuous electroencephalography and quantitative analysis. *Clinical EEG and Neuroscience* 2022; 53 (2): 133-37. <https://doi.org/10.1177/15500594211018535>
 49. Haneef Z, Levi HS, Frost JD, Mizrahi EM. Electroencephalography and quantitative electroencephalography in mild traumatic brain injury. *J Neurotrauma* 2013; 30 (8): 653-56. <https://doi.org/10.1089/neu.2012.2585>
 50. Fingelkurts AA, Fingelkurts, AA. Quantitative electroencephalogram (qEEG) as a natural and non-invasive window into living brain and mind in the functional continuum of healthy and pathological conditions. *Applied Sciences*, 2022; 12(3), 9560. <https://doi.org/10.3390/app12199560>
 51. Hughes JR, John RE. Conventional and quantitative electroencephalography in psychiatry. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences* 1999; 11 (2): 190-208. <https://doi.org/10.1176/jnp.11.2.190>
 52. Etkin A, Mathalon DH. Bringing Imaging Biomarkers Into Clinical Reality in Psychiatry. *JAMA Psychiatry* 2024;81; (11): 1142-47. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2024.2553>